



Examensarbete inom Landskapsingenjörsprogrammet. 2006:18
ISSN 1651-8160

Kallmur av granit

– dess konkurrenskraft gentemot andra stödmurar
gällande stabilitet, ekonomi och livslängd

Ida Persson och Viktoria Martinson

Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik
Box 66
230 53 ALNARP

Förord

Examensarbetet är skrivet inom ämnet teknologi på landskapingenjörsprogrammet. Arbetet omfattar 10 poäng på C-nivå och är framarbetat för Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik på SLU i Alnarp. Målgruppen för examensarbetet utgörs av studerande inom landskapsplanering och –teknik, men även yrkesverksamma projektörer och arkitekter.

Arbetet är skrivet i samarbete mellan Ida Persson och Viktoria Martinson. Viktoria Martinson har studerat alternativa murkonstruktioner, dess konstruktionsmaterial och livslängd och gjort en ekonomisk jämförelse utefter denna information. Ida Persson har utrett olika jordars egenskaper och dess stabilitet i slänter. Ida har även behandlat geotekniska utredningar. Tillsammans har vi behandlat granit som material, den aktuella kallmurens konstruktion samt undersökt murens konkurrenskraft på marknaden och sammanställt ett produktblad.

Vi vill passa på att tacka Kurt Johansson, ordförande för Sveriges Stenindustriförbund och Kjell Jönsson, vd Naturstenskompaniet, för stort stöd och god hjälp vid insamling av material. Vi vill även tacka Bjørn Egil Eriksen, JOGRA Stenindustri AS, för gott omhändertagande vid vårt besök i Norge. Ett stort tack vill vi även ge till Kaj Rolf för att han har varit vår handledare och stora stöd vid genomförandet av vårt examensarbete.

Material som fotografier och figurer är författarnas egna där inget annat anges.

Alnarp, maj 2006

Ida Persson och Viktoria Martinson.

Sammanfattning

Syftet för följande examensarbete var att undersöka möjligheterna att tillämpa en viss kallmurad stödmur i Sverige. Muren har fått en stor spridning i Norge, och används där både i vägmiljöer, stadsmiljöer och som stödmur för att ta upp landskapets varierande nivåer. I Sverige existerar inte den här typen av mur. Om muren har fått så stor användning i Norge, varför kan den då inte byggas i Sverige?

Muren byggs av större råhuggna och rektangulära granitblock som staplas på varandra med hjälp av grävmaskin och genom blockens tyngd erhålls en stabil konstruktion. Idag utnyttjas runt trettio procent av den sten som bryts, till gatsten, kantsten, konst och gravvårdar. Resterande del finns det ingen direkt marknad för i dagens läge. Sten sorteras bort på grund av skönhetsfel såsom kvartsränder och barkytor, samt för att stenen har bristande kvalitet gällande klyvbarhet. Då det inte finns några speciella krav på blockens utseende kan en del av den sten som idag sorteras bort användas till stödmuren.

I arbetet behandlas granit som material; dess egenskaper och möjligheter. Genom att materialet har bildats under en lång tid, har det fått goda egenskaper med avseende på beständighet, slitstyrka och hållfasthet. Vidare har vi studerat stäntstabilitet, dvs olika jordars geotekniska egenskaper och deras förmåga att bära en konstruktion. Granitmuren har även jämförts ekonomiskt med andra typer av stödmurar för att undersöka dess konkurrenskraft på marknaden. Den ekonomiska delen syftar till att jämföra denna typ av murkonstruktion med andra, på marknaden mer vanligt förekommande murtyper och murmaterial.

Huruvida en stentyp är lämplig till den här typen av mur bestäms av dess klyvbarhet. Sten med god klyvbarhet bryts främst i Bohuslän och i Bjärlov och Vånga i Skåne. Att transportera sten i Sverige är idag dyrt, och det är en nackdel att brytningsplatserna är begränsade.

I vår ekonomiska jämförelse har vi kommit fram till att granitmuren kan konkurrera med andra murar på marknaden gällande anläggningskostnad. Dock kan transporterna ses som ett problem eftersom lämpliga stenbrott är få och föga utspridda i Sverige.

Genom en enkätundersökning har vi upptäckt att det bland yrkesverksamma projektörer, landskapsarkitekter och geotekniker finns ett stort intresse för muren. Bland de tillfrågade fanns det ingen som kände till den här typen av konstruktion, vilket visar att marknadsföring av muren är viktig. I allmänhet tror de yrkesverksamma att granit är ett dyrt material och därför väljer man annat material istället. Såvida kostnaderna inte blir för höga anses granitmuren vara ett bra och tilltalande alternativ till att enbart anlägga murar av betong eller gabioner. Enligt de geotekniker vi talat med är konstruktionen hållbar och de anser att det är en viktig aspekt att man, genom murkonstruktionen, kan ta tillvara på restmaterialet bättre. Vi fick fram ett brett spektra gällande murens användningsområden, vilket bara ytterligare bevisar murens många möjligheter.

Summary

The purpose of this degree thesis is to investigate the possibilities to use a certain kind of stone wall in Sweden. This construction is commonly used in Norway, among roads, in urban environment and as a supportive wall in hard ground conditions. In Sweden the usage of this stone wall is very rare. If it is common in Norway, why can't it be used in Sweden as well?

The wall is built of large rectangular boulders that are put on top of each other with an excavator. The boulders are heavy and in that way they stabilize the construction. The production of granite only amount about thirty percent of the extract from the quarry. For the remaining seventy percent there are no business, because of aesthetic reasons and unpredictable dichotomy. This spill material can be used in building this type of wall.

In our thesis we study the granite as a material, the quality and possibilities. Granite has been formed though a very long time, and by that it has got good qualities such as strength and sustainability. We also investigate different kind of soils, their qualities and abilities to carry a construction. We also compare the stone wall to other type of constructions and materials.

The stones that can be used in this kind of wall are produced in Bjärlöv and Vånga in Skåne and in Bohuslän. The transportation of the granite stones is a problem. It is a heavy material and the quarries are rare, which makes the transportation expensive.

Both architects and engineers find this construction attractive and believe that this stone wall may work as a complement of other walls, like concrete or gabions. The stone wall can also be used in very different kind of environments, which makes it even more attractive for the market.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsning	1
1.4	Metod och material	2
2	Granit.....	3
2.1	Bakgrund.....	3
2.2	Granitens egenskaper	5
2.3	Ytbearbetningar.....	6
2.4	Reststen.....	6
2.4.1	Varför blir det reststen?.....	6
2.4.2	Hur stora är upplagorna av sten?.....	7
2.4.3	Vad görs idag? Vad finns det för möjligheter?	7
3	Stödmurskonstruktioner.....	8
3.1	Kallmur av granit	8
3.1.1	Bakgrund	8
3.1.2	Brytning.....	8
3.1.3	Tillverkningsprocess från block till kallmur	11
3.1.4	Transportkostnader.....	12
3.1.5	Design.....	13
3.1.6	Överbyggnad	14
3.1.7	Montering	14
3.1.8	Problematik	15
3.1.9	Granitens livslängd och dess behov av skötsel	16
3.2	Stenfyllda gabioner	16
3.2.1	Konstruktion.....	16
3.2.2	Problematik - Korrosion.....	17
3.2.3	Gabioners skötselnivå och livslängd	18
3.3	Platsgjuten betongmur	19
3.3.1	Betongens sammansättning	19
3.3.2	Ytbehandlingar av betong	21
3.3.3	Platsgjutning.....	22
3.3.4	Problematik hos betongkonstruktioner.....	23
3.3.5	Livslängd och beständighet hos betong	25
3.4	L-Stöd/T-Stöd	26
3.4.1	Konstruktion.....	26
3.5	Blockstensmur i betong.....	26
3.5.1	Konstruktion.....	26
3.5.2	Problematik	27
4	Släntstabilitet	28
4.1	Bakgrund.....	28
4.2	Jordarter	28
4.2.1	Lera.....	28
4.2.2	Silt	29
4.2.3	Sand och grus	29

4.3	Jordarters geotekniska egenskaper.....	29
4.3.1	Bärighet	29
4.3.2	Släntstabilitet- skjuvhållfasthet	30
4.3.3	Friktionsjordars hållfasthet.....	32
4.3.4	Kohesionsjordars hållfasthet	32
4.3.5	Mellanjordars hållfasthet.....	32
4.4	Jordtryck	32
4.5	Olika jordars problematik	33
4.5.1	Sättningar	33
4.5.2	Ras och skred	34
4.5.3	Erosion	35
4.6	Geotekniska undersökningar.....	36
4.6.1	Geoteknisk besiktning och överslagsberäkningar	39
4.6.2	Detaljerad utredning	40
4.6.3	Fördjupad utredning	40
4.6.4	Kompletterande utredning.....	41
4.6.5	Beräkningar	42
4.7	Mur med jordarmering	42
5	Ekonomisk analys.....	46
5.1	Bakgrund.....	46
5.2	Ekonomisk sammanställning	46
5.2.1	Stenfyllda gabioner, livslängd 30-40 år	46
5.2.2	Platsgjuten betongmur, livslängd 40-120 år.....	47
5.2.3	L-stöd/T-stöd, livslängd 40-50 år.....	47
5.2.4	Blockstensmur i betong, livslängd 40-50 år.....	48
5.2.5	Kallmurad blockstensmur i granit, livslängd minst 100 år	48
5.3	Kalkylsammanfattning.....	49
6	Marknadsföring.....	50
7	Enkätundersökning	51
8	Diskussion.....	52
9	Källförteckning	55
10	Bilagor.....	58
	Bilaga 1 Intervju via e-mail	
	Bilaga 2 Kalkyl Stenfyllda gabioner	
	Bilaga 3 Kalkyl Platsgjuten betongmur	
	Bilaga 4 Kalkyl L-stöd/T-stöd	
	Bilaga 5 Kalkyl Blockstensmur i betong	
	Bilaga 6 Kalkyl Granitmur	
	Bilaga 7 Enkätundersökning gällande kallmurad stödmur av granit	
	Bilaga 8 Enkätssammanställning	
	Bilaga 9 Rapport	

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Natursten som byggnadsmaterial i utomhusmiljöer, fångade vårt intresse under kursen ”Markbyggandets hårda material och konstruktion”. Kursen behandlade materialets egenskaper, karaktär och begränsningar. Vi tycker att natursten är ett spännande och användbart material som ger ett genuint uttryck och detta gjorde att vi ville fördjupa oss inom området.

Vi tog kontakt med Kurt Johansson, ordförande i Sveriges Stenindustriförbund, och han föreslog att vi skulle behandla en viss typ av kallmur av granit. Muren har stor användning i Norge men tekniken har inte fått något fäste i Sverige. Den fungerar som en stödmur och används i vägmiljöer, urbana miljöer och för att ta upp nivåskillnader i landskapet. Till produkten används sten som tillåts ha kvartsränder, barkytor och synliga borrhål, dvs. sten som annars inte kommer till användning.

Varför används inte denna typ av stödmur i Sverige? Vad är kraven på de sekunda block som används vid uppbyggandet av muren? Kan man minska de enorma massor som idag deponeras som reststen?

Genom att införa idén om den här muren i Sverige kan den energi som åtgår vid brytandet av granit tas bättre tillvara genom att utnyttjandet av materialet blir större.

1.2 Syfte

Syftet med vårt arbete var att undersöka möjligheterna att tillämpa den här typen av kallmur i Sverige, för att ge en alternativ användning av det som idag blir reststen. För att kunna presentera muren på ett rättvisande sätt ville vi lära oss mer om stödmurar och dess uppbyggnad. Vi ville undersöka om muren kan utgöra ett alternativ som fungerar på marknaden och därför var vi tvungna att lära oss mer om materialets egenskaper, murens konstruktion, hur monteringen går till, samt att utreda murens anpassning till landskapet.

1.3 Avgränsning

Som avgränsning i arbetet har vi valt att enbart behandla stödmurar av materialet granit och då enbart svensk sådan. Import sker enligt Kurt Johansson, annars av granit från Kina, Indien och Portugal men denna behandlar vi inte här. Vi har således inte arbetat med andra naturstensmaterial som till exempel kalksten, sandsten och skiffer. För att få en rättvisande ekonomisk jämförelse behandlar vi till viss del andra typer av stödmurar som betongmurar och gabioner.

Vi har även begränsat arbetet till murar byggda av speciellt framtagna granitblock, och har inte berört murar av sprängsten eller annat material som kan framkomma vid schaktningsarbete.

Vi har inte utfört några geotekniska beräkningar eller utredningar för muren, utan istället använt vi oss av de referensobjekt som finns i Norge. Vi har därför inte ifrågasatt hållbarheten eftersom traditionen av att bygga kallmurar är lång i Norge, och att man därifrån kan finna referenser till att konstruktionen håller.

1.4 Metod och material

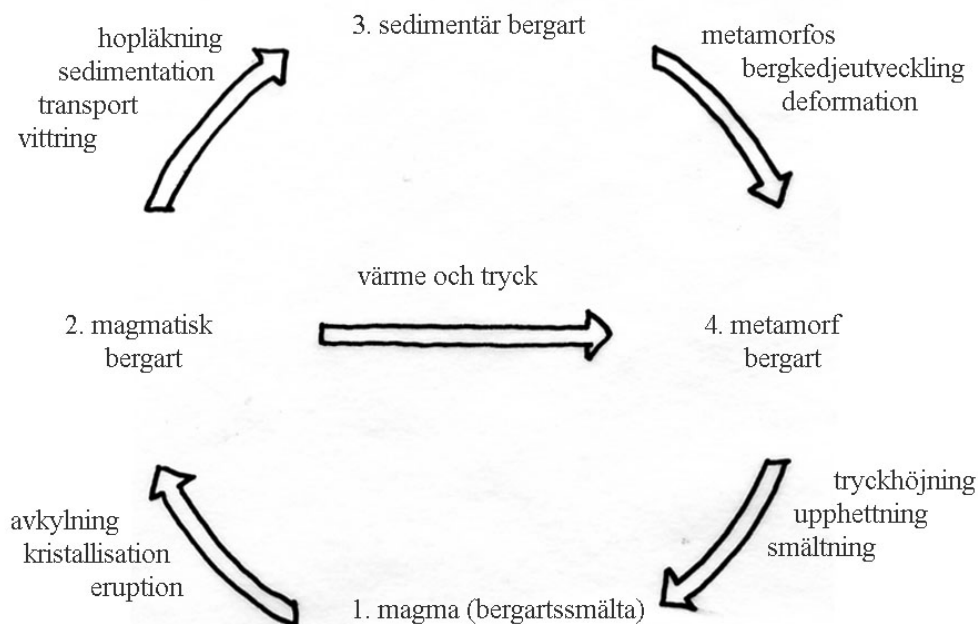
- I vår litteraturstudie har vi rett ut granitens uppkomst och egenskaper. Vidare har vi studerat jordars hållfasthet, beträffande släntstabilisering, hur utredningen om jordars hållfasthet går till och vilka problem som kan uppstå vid opålitliga jordar. Vi har även jämfört olika stödmurstyper för att sedan göra en rättvis ekonomisk bedömning med hänsyn till materialens livslängd.
- Vi har gjort ett besök i Bjärlövs stenbrott och där studerat framtagningen av block, från stenbrott till färdig produkt. Vi har besökt JOGRA Stenindustri i Halden och Oslo i Norge för att dels studera produktionen av block, men även montering av muren och färdiga objekt.
- En ekonomisk analys har gjorts innefattande olika stödmurars material- och anläggningskostnader, med en diskussion om kvalitet och livslängd.
- Vi har gjort en marknadsundersökning, där vi undersökt möjligheterna och intresset för stödmuren på marknaden. Enkäter har skickats till konsulter, kommuner och vägverket.
- Ett sammanfattande produktblad har framställts, ett utkast till något som sedan kan skickas till aktuella kunder.

2 Granit

2.1 Bakgrund

Människan har i alla tider utnyttjat natursten som byggnadsmaterial för olika ändamål (Burström 2001). Idag bryts och bearbetas cirka 70 stensorter i Sverige (Sveriges Stenindustriförbund 2002). Gemensamt för alla typer av natursten gäller att de har dålig böjhållfasthet men mycket hög tryckhållfasthet. Detta har länge utnyttjats inom byggtekniken genom att bygga valv, massiva murar och bärande överstycken. Inom stenindustrin används ofta begreppen hårdsten och lössten, beroende av stenens brytnings- och bearbetningsegenskaper. Hårdsten utgörs av granit och granitlika bergarter samt hård sandsten. Granitlika bergarter är ett samlingsnamn för bergarter som uppkommit genom vulkaniskt utbrott och omvandlade (metamorfa) former av dessa. Till dem hör diabas och gnejs. Deras egenskaper liknar granitens och därför kallas de granitlika. Kalksten och marmor hör till lössten. (Burström 2001)

Grundämnen i olika kombinationer i den fasta jordskorpan bildar olika mineral. Mineral är kemiska föreningar eller grundämnen som utgör huvudbeståndsdelarna i våra bergarter. Vår svenska berggrund har uppkommit genom olika bildningsprocesser under en period av cirka tre miljarder år. Jordskorpan vanligaste grundämnen är syre, kisel, aluminium, järn, kalcium, natrium, kalium och magnesium. Dessa bildar de vanligaste mineralerna som kvarts, kalifältpat, plagioklas, glimmer, hornblände, pyroxen, olivin och karbonat. (Lundqvist 1998) Dessa mineraler har olika färg, vilket ger naturstenen dess spräcklighet (Burström 2001).

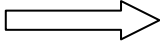


Figur 2.1 Den geologiska cykeln visar att bergarterna genomgår en ständig förändring (efter Lundqvist, 1998).

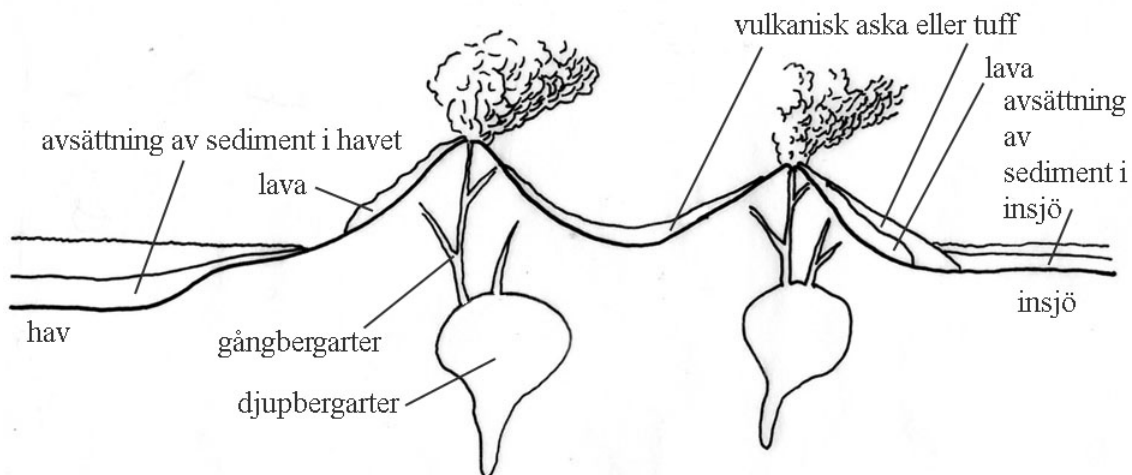
Beroende på bildningssätt delas bergarterna in i magmatiska, sedimentära och metamorfa. I den geologiska cykeln, figur 2.1, kan dessa på olika sätt ombildas på nytt. Magmatiska bergarter bryts långsamt ner genom bland annat vittring och övergår till sedimentär bergart. Genom omvandling under värme, tryck och veckning kan både magmatiska och sedimentära

bergarter överförs till metamorfa. Metamorfa bergarter kan sedan vid stark upphettning smälta och på nytt övergå till magmatiska bergarter. I tabell 2.1 ser vi att de vulkaniska bergarterna delas in i vulkaniska bergarter, gång- och djupbergarter. Sedimentära och vulkaniska bergarter har avsatts på jordens yta och kallas ytbergarter. (Lundqvist 1998)

Tabell 2.1 Scematisk tabell över bergarternas uppkomst (Lundqvist 1998)

<u>SEDIMENTÄRA</u>	<u>METAMORFA</u>		
	Lite		Mycket omvandlade
Lerskiffer	Skiffer, glimmerskiffer		Gnejs, ådergnejs
Sandsten	Finkornig kvartsit		Grovkornig kvartsit
Kalksten	Finkornig marmor		Grovkornig marmor
Konglomerat			
<u>MAGMATISKA</u>			
<u>VULKANISKA</u>			
Ryolit (porfyr)	Hälleflinta, leptit		Leptitgnejs
Basalt	Grönskiffer		Amfibolit
<u>GÅNGBERGARTER</u>			
Granitporfyr			
Diabas			
<u>DJUPBERGARTER</u>			
Granit	Skiffrig granit		Gnejsgranit
Syenit			
Gabbro			

Det finns tre typer av magmatiska bergarter, djupbergarter, ytbergarter och gångbergarter. I figur 2.2 ser vi hur djupbergarter har kommit från jordens inre i flytande form och sedan stelnat under tryck och långsamt sjunkande temperatur. Produkten är mer eller mindre grovkristallin med kristallerna riktningslöst anordnade. Ytbergarter och gångbergarter har uppkommit genom att magman trängt upp i redan svalnade bergmassor som gångar eller till jordytan som lava. Den har sedan kylts av hastigt och bildat en mer finkornig till glasig struktur. Sedimentära bergarter består av kross- och vittringsprodukter av magmatiska och metamorfa bergarter eller kalkskalsfragment och kemiska utfällningar som kittats samman av kvart eller fältspat. Vanligen har de bildats genom avlagring på botten av tidigare hav och sjöar. (Sveriges Stenindustriförbund 2002)



Figur 2.2 Schematisk bild över bergarters uppkomst (efter Lundqvist, 1998).

Metamorfa bergarter är magmatiska och sedimentära bergarter som förlorat sin ursprungliga karaktär genom omvandling under högt tryck och hög temperatur. Mineralerna är oftast orienterade i plan. (Sveriges Stenindustriförbund 2002) Bildningssätten påverkar materialens struktur och textur. Med textur menas det mönster eller ljusspel som stenen uppvisar i en brottyta. Texturen kan uppfattas både med ögat och kännas med handen. (Burström 2001) Strukturen talar om på vilket sätt stenen är uppbyggd och hur mineralkornen är sammanfogade (Sveriges Stenindustriförbund 2002). Det är porositeten och kornfogningen som skiljer bergarterna åt och hållfastheten och vattengenomsläppligheten bestäms av dessa (Pusch 2005).

2.2 Granitens egenskaper

Granit innehåller mineralerna kvarts, fältspat och glimmer (Sveriges Stenindustriförbund 2006) och finns i färgerna grått till rött där mängden kvarts och fältspat påverkar spräckligheten, färgen och texturen hos stenen (Burström 2001).

Den svenska stenens höga ålder gör att stenen ofta är hårdare än motsvarande stensorter från andra delar av jorden. Detta medför att stenen får en bättre beständighet och motståndskraft samtidigt som stenen blir svårare att bearbeta. (Sveriges Stenindustriförbund 2002)

Det är granitens silikatmaterial, dvs. kvarts och fältspat, som ger den dess hårdhet och god resistens mot sura medel. Ett större kvartsinnehåll ger en hårdare sten och en yta som är mycket resistent mot mekanisk påverkan. (Sveriges Stenindustriförbund 2006) Ju större kristaller stenen innehåller desto mer minskar hållfastheten på grund av att kristalldefekter och kornfogning bestämmer hållfastheten. Desto större volym stenen har, desto mindre blir tryckhållfastheten. Detta beror på att med ökad volym kommer större och större svagheter. I tabell 2.2 framgår att hållfastheten är starkt volymberoende och att sten endast tål väldigt låga dragkrafter. Detta är viktigt att tänka på när man använder sten som konstruktionsmaterial. (Pusch 2005)

2.4.2 Hur stora är upplagorna av sten?

För att ge ett exempel på de kvantiteter sten som idag ligger som skrotsten har beräkning gjorts utifrån Bjärlövs stenbrott. Där har man brutit granit aktivt i 50 år. I genomsnitt får man ut 10 000 kubikmeter sten per år. Av denna kan 3500 kubikmeter användas till gatsten, kantsten, konst och gravvårdar, resten deponeras som skrotsten.¹

$50 \text{ år} * (10\,000 - 3500) \text{ kubikmeter/år} = 325\,000 \text{ kubikmeter}$

Med en densitet på 2,640 ton/kubikmeter (Sveriges Stenindustriförbund 2003) blir detta 858 000 ton granit.

2.4.3 Vad görs idag? Vad finns det för möjligheter?

När man vid brytning av stenblock arbetar för att få så stora block som möjlig, placerar man laddningarna tätare vid makadambrytning vilket ger en mer kostnadseffektiv framställning.² Det största hindret för att krossa reststenen istället för att lägga den på deponi är transporterna. I de lägen där stenbrottet ligger nära en hamn krossas ofta de sekunda blocken till makadam, medan man på platser där detta ej är lönsamt istället deponerar blocken som skrotsten i närheten av brottet.³ Den dag då det blir brist på grus kan all skrotsten krossas till makadam, men i dagsläget finns ingen stor marknad för detta. Stenen säljs även i viss mån till vattenbyggnadsprojekt. Viss problematik finns dock i att använda sten med kantiga former i kombination med vatten, eftersom vågorna har kraften att ta med sig stenen. Runda stenar slår istället sönder vågorna.¹³

¹ Kjell Jönsson, 2006-05-04

² Lars Jeppsson, 2006-02-09

³ Kurt Johansson, 06-02-02

3 Stödmurskonstruktioner

3.1 Kallmur av granit

3.1.1 Bakgrund

Kallmurar av stenblock har anlagts i Sverige genom alla tider, men under 60- och 70-talet kom istället betongelement att användas flitigt som stödmurar. I Norge började uppförandet av kallmurar av granit igen på 80-talet och användandet har fortsatt öka sedan dess. Landskapet i Norge är mer kuperat än det svenska. Därför har de ett större behov av stödmurar och Norske Vegvesen använder därmed muren flitigt. Kallmurar av råhuggna granitblock kan användas både i urbana miljöer och vägmiljöer, som hjälpkonstruktion vid svåra terränger och höjdskillnader. Den kan även fungera som ett dekorativt inslag i landskapsbilden. Till muren används naturliga, råkilade eller mer bearbetade block, där råkilade block är vanligast. (Thorvaldsen 2003)

Kallmuren byggs utan bruk vilket gör den tålig mot tjäle eftersom den då får en viss rörelsemån. Muren tar på så vis ingen skada utan följer temperaturväxlingarna. Detta gör att den har en längre livslängd än andra konstruktionsmaterial, samtidigt som granit är ett beständigt material.⁴

Liknande murkonstruktioner byggs av sprängsten som finns på platsen. Då är stenen gratis men monteringen blir normalt dyrare eftersom tillhuggning av stenen krävs då denna är oregelbunden.⁵ Det finns en längre tradition med att bygga murar av sten med ojämn form, idag anläggs fler sådana murar utanför, än i staden, eftersom den huggna stenen upplevs mer exklusiv. Arkitekten kan ange vissa kriterier för att på så sätt säkra murens utseende, men det är ingen garanti för att resultatet blir bra. De som har bra erfarenhet av att bygga kallmur kan både sortera och hantera stenen på ett bra sätt. För att säkerställa detta kan man ställa krav på att referensobjekt uppvisas av entreprenören.⁶

3.1.2 Brytning

Man kan lätt tro att berg är en lättåtkomlig och billig råvara eftersom det finns överallt, men det finns en rad olika faktorer som är avgörande för att brytningen skall bli lönsam.

Homogenitet. Färgen och texturen hos berget måste vara homogen inom ett större område. Berget får heller inte innehålla för mycket sprickor eftersom dagens bearbetningsmaskiner ökar efterfrågan på stora block. (Burström 2001) För att lokalisera exploaterbara volymer av brytbart berg får diskontinuiteter av 4:e till 7:e ordningen förekomma, för att brytningen skall bli lönsam. Se tabell 3.1 och figur 3.1. För att undersöka homogeniteten hos ett berg görs provborrning i 45° vinkel. Är homogeniteten tillräcklig kan ansökan göras om att få bryta berg på platsen.⁷

⁴ Leif Abrahamsen 2006-02-22

⁵ Bjørn Egil Eriksen 2006-02-22

⁶ Heidi Hammarstedt 2006-03-23

⁷ Kjell Jönsson 2006-05-04

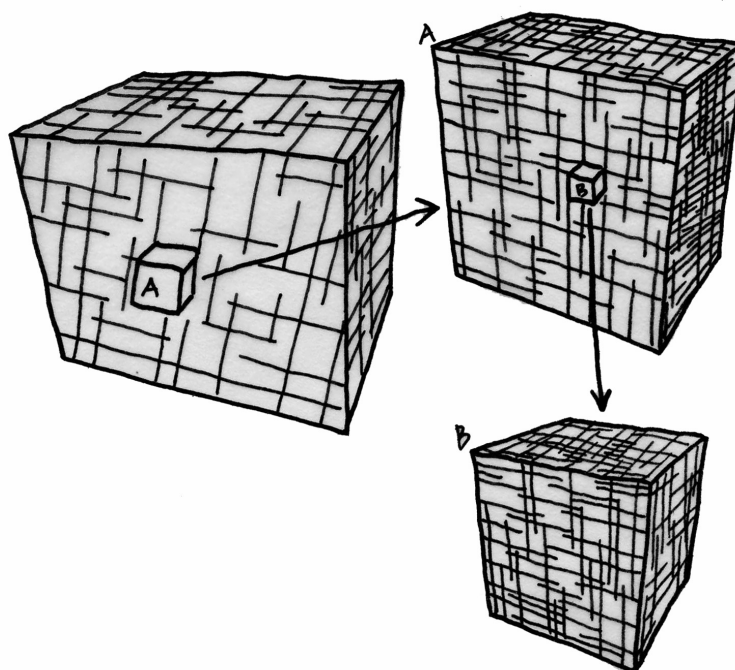
Tabell 3.1 Svagheter (diskontinuiteter) i berg (Pusch 2005)

Diskontinuitet	Allmänna egenskaper	Bredd mellan sprickor, m	Tjocklek på sprickor, m	Hållfasthet
1:a ordningen	Mkt stora svaghetszoner	>1000	>100, <1000	Mkt låga pga lerinnehåll
2:a ordningen	Stora svaghetszoner	1000	>10, <1000	Låg pga visst lerinnehåll
3:e ordningen	Små svaghetszoner m spricksvärmar, obetydlig lervittring	>100, <1000	>1, <100	Relativt låg
4:e ordningen	Enskilda, vattenförande sprickor	>10, <100		Låg till medelhög
5:e ordningen	Enskilda, nästan täta finsprickor	<1		Medelhög till hög
6:e ordningen	Enskilda, täta finsprickor	<0.1		Hög
7:e ordningen	Porer och finfissurer	<0.01		Mycket hög

Marknad. Även inom stenindustrin finns modeväxlingar, därför måste stenen ha rätt färg och struktur för att passa marknaden. Priset på stenen bestäms utifrån marknad och efterfrågan. Det finns en stor internationell marknad för natursten, trots den höga vikten och därmed den höga fraktkostnaden.

Tekniska egenskaper. Innan brytning i stor skala påbörjas bör stenens tekniska egenskaper undersökas. Exempel på egenskaper som provas är stenens klyvbarhet och dess förmåga att klara vissa efterbearbetningar såsom polering. Det är även väsentligt att man kan få ut stora block från stenbrottet för att det skall bli lönsamt.

Åtkomlighet. Brottet får inte ligga för avlägset eftersom transportkostnaderna då blir höga samtidigt som man då måste anlägga vägar och dra el med mera till brottet. I norra Sverige kan stränga vintrar orsaka problem, eftersom mycket snö då gör brytningen olönsam. Stenen får dessutom inte täckas av tjocka lager med jord eller dåligt berg då detta leder till en stor merkostnad.



Figur 3.1 En generaliserad modell som kan fungera som underlag för lokalisering av exploaterbart berg där sprickor och porer är avgörande (efter Pusch 2005)

Arbetskraft Att lära upp folk inom stenbrytning tar lång tid och det är därför en fördel om det redan finns stentraditioner i området. (Burström 2001)

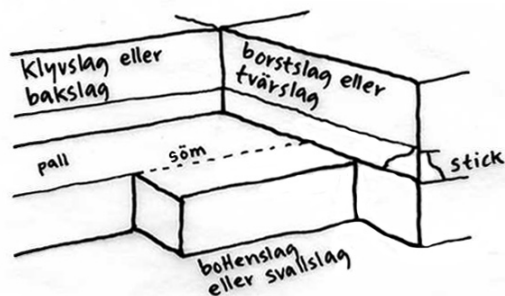
I Sverige sker all brytning av sten i dagbrott. Med dagbrott menas att brytningen sker i öppna brott vid markytan, som i figur 3.2. För att stenblocken skall passa maskiner i den fortsatta bearbetningen försöker man få ut rätvinkliga block i passande storlekar. För att förhindra onödiga transporter formas blocken tidigt beroende av den tänkta användningen. Blockens storlek begränsas ofta av naturliga sprickor i stenen, så kallade slag. Metoden för brytningen beror på granitens egenskaper och slagens karaktär. Blocken formas vanligen genom kilning och de råa blocken sågas sedan i fabriken med ramsågar eller klingsågar. (Burström 2001)



Figur 3.2 Bjärlövs stenbrott.

Borring sker från tre håll, med början underifrån (svallsidan). Efter det följer borring bakifrån (klyvslag) och sedan vinkelrätt mot detta (borstslag), se figur 3.3.

Vid brytningen försöker man få ut så stora block som möjligt. För att få ett helt stenblock med minsta möjliga mängd kross sker sprängning från alla håll samtidigt. Då skall tre sidor vara fria eftersom man är beroende av att hela blocket skall kunna flytta på sig. Kan det inte flytta på sig vid sprängningen finns det risk att onödiga sprickor uppkommer i blocket.



Figur 3.3 Schematisk bild av stenbrott (efter Sveriges Stenindustriförbund 2002)

Blocket delas sedan i mindre transporterbara ämnen genom borring och kilning på plats i brottet. Se figur 3.4. Blocken värderas efter tre klasser redan i brottet. Klass 1 används till konstverk och andra krävande produkter, klass 2 huggs till kantsten eller klipps till gatsten och klass 3 krossas eller läggs som reststen. Blocken transporteras sedan upp ur brottet för att delas upp i mindre delar beroende av vad som skall framställas.⁸



Figur 3.4 visar dels spåren efter sprängning av borstslag samt borrade hål för delning av block.

⁸ Lars Jeppsson 2006-02-09

3.1.3 Tillverkningsprocess från block till kallmur

Processen för framställning av block till kallmuren kan delas in i två steg; brytning av sten samt delning av block. Vid framställning av många andra naturstenprodukter tillkommer fler moment, vilket gör produktionen av block för kallmuren till en relativt enkel arbetsprocess. Till kallmuren används sten av klass 3, alltså sten som annars skulle krossas eller läggas som reststen. På så sätt kan en större procentsats uthuggen sten faktiskt användas och man kan ta bättre vara på den energi som åtgår vid brytandet. Sten av klass 3 saknar ofta de väsentliga egenskaper som krävs för att klara kommande bearbetningar, såsom sågning, huggning och klippning, eftersom risken att stenen klyver fel är stor. Det är inte lönsamt att påbörja finare bearbetning av en sten som kan spricka, därför används stenen till kallmursblock, kross eller skrot.⁹



Figur 3.5 Borrning av block.

Vid delning av block till kallmuren sker borrning till ett djup av 10-15 centimeter.¹⁰ Se figur 3.5. Man sätter kilar i borrhålen och slår sedan i dessa, steg för steg. För att få bättre resultat, dvs. så jämna ytor som möjligt, bör man inte stressa stenen och låter därför kilarna arbeta själva mellan slagen.¹¹ Se figur 3.6. Kilning sker i regel från svallsidan och det är viktigt att ådringarna ligger rakt för att stenen inte ska dela sig fel. Kilas blocken norr-sydriktning, drar stenens ådringar alltid åt väster. Svallsidan markeras redan i brottet eftersom enbart ett fåtal personer kan känna denna riktning, när stenen är i mindre format.⁷ Vid kilning av större block kan man kila från två håll och på så sätt styra stenen till en säkrare delning. Avståndet mellan kilarna är 10-15 centimeter då kilning från svallen sker, medan avståndet är större vid kilning från klyven.



Figur 3.6 Kilning av block.

Blocken antar sedan formen som i figur 3.7 med måtten; 30x30 ±5 centimeter, 40x40 ±5 centimeter och 50x50 ±10 centimeter i löpande längder beroende på arkitektens föreskrifter,⁸ där storleken 50x50 ±10 centimeter är den vanligaste¹². Den mest frekventa längden på blocken är 50-150 centimeter men det går att beställa längre block. Dessa långa block är dock svåra att få att ligga stabilt och bör därför bara användas långt ner i konstruktionen.⁸ Stenens yta tillåts variera 2,5-3 centimeter, vilket ger en



Figur 3.7 Ett färdigt block.

⁹ Lars Jeppson 2006-02-09

¹⁰ Lars Johansson 2006-02-09

¹¹ Tom Erik Løvås 2006-02-22

¹² Kjell Jönsson 2006-05-04

fogbredd på 2-5 centimeter¹³ Det finns inga speciella utseendekrav, stenen kan skifta i färg samt ha synliga borrhål. Vanligtvis sker därför ingen efterbearbetning av blocken utan de har råa sidor.¹⁴ Viss efterbearbetning kan dock ske vid monteringen.¹⁵

Idag är andelen användbar sten ca 30 % av den utvunna. Med större användning av blocken i klass 3 skulle denna andel kunna bli 50-60 %.¹⁶

3.1.4 Transportkostnader

Transportens längd mätt från stenbrotten i Bjärlöv och Vånga i Skåne samt utifrån brotten i Bohus, Bohuslän utläses ur figur 3.8. Transportkostnaderna i tabell 3.2, per kvadratmeter färdig mur, baseras på snittvikten på respektive blockstorlek, enligt tabell 3.3¹⁷.

Tabell 3.2 Transportkostnader beräknat på milsradie-avstånd från stenbrott

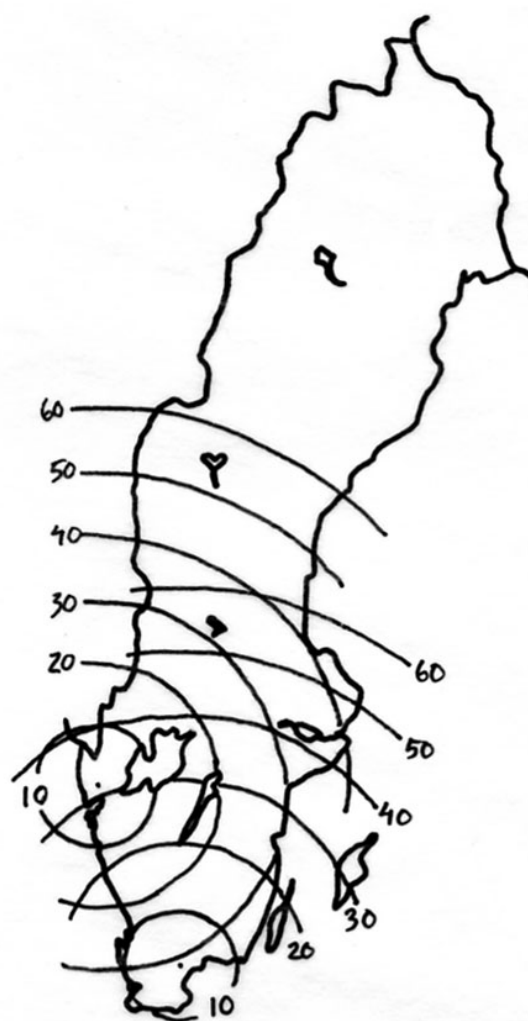
Avstånd	Pris kr/ton	Pris kr/m ² färdig mur
10-milsradie	150	210
20-milsradie	200	280
30-milsradie	250	350
40-milsradie	300	420
50-milsradie	325	455
60-milsradie	375	525

Tabell 3.3 Vikt beroende på blockens storlek

Blockstorlek (cm)	Vikt (kg)	Vikt/m ² färdig mur (kg/m ²)
50x50 (0,5 m ²)	700	1400
40x40 (0,4 m ²)	450	1125
30x30 (0,3 m ²)	250	834

3.1.4.1 Förekomst av sten

Till kallmurade stödmurar av granit används i första hand sten med god klyvbarhet. Till dessa hör granitsorterna Bjärlöv och Bohus. Även Vånga röd kan i viss mån användas.²¹



Figur 3.8 Transportavstånd från stenbrotten Bjärlöv och Vånga i Skåne, samt Bohus i Bohuslän

¹³ Bjørn Egil Eriksen 2006-02-22

¹⁴ Lars Johansson 2006-02-09

¹⁵ Leif Abrahamsen 2006-02-22

¹⁶ Kjell Jönsson 2006-02-09

¹⁷ Kjell Jönsson 2006-05-04

3.1.5 Design

Figur 3.9-3.13 visar exempel på miljöer i Norge där man byggt den här typen av mur.



Figur 3.9 Granitmur i stadsmiljö.



Figur 3.10 Granitmur i miljö med vatten.



Figur 3.11 Granitmur i vägmiljö (foto Bjørn Egil Eriksen).



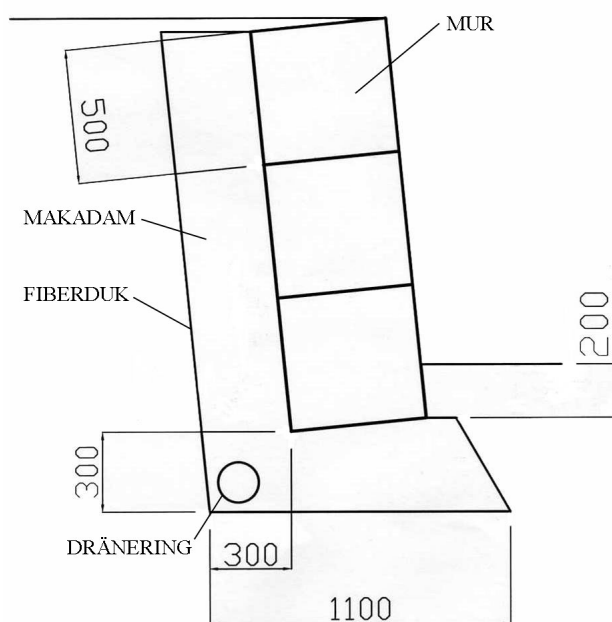
Figur 3.12 Svängd granitmur i bostadsområde (foto Bjørn Egil Eriksen).



Figur 3.13 Granitmur som brostöd (foto Bjørn Egil Eriksen).

3.1.6 Överbyggnad

Terrassens beskaffenhet och de geotekniska förhållandena ligger till grund för konstruktionens utformning. Faktorer som påverkar är bärighet, tjäle och marktryck. Bakom och under konstruktionen måste makadam användas som dränerande material för att hindra vatten från att tränga in och göra muren instabil. (Thorvaldsen 2003) En vanlig fraktion är 20-120 millimeter, men ofta används den sten som finns att tillgå i området.⁹ Murens konstruktion visas i figur 3.14.



Figur 3.14 Murens konstruktion.

Mellan terrassen och det dränerande materialet läggs en fiberduk för att hindra finkornigt material att blandas med mer grovkornigt och då försämra materialets dränerande förmåga.⁹ När jord, lera, sand och grus blandas med vatten kan det medföra att blocken flyttar på sig. Dräneringen och grundläggningen är mycket viktig för att skapa en fungerande, trygg och livskraftig mur.¹⁸

3.1.7 Montering

Vid montering kan viss tillhuggnings ske, som att ta bort kilmärken och hugga till kanterna för att få mindre fogar. Muren monteras vanligtvis med en lutning av 10-20 %. (Thorvaldsen 2003) Vid större lutning än 20 % blir det svårare att ge muren estetiskt tilltalande hörn då detta kräver hög precision vid tillhuggnings.¹⁹

En kallmur av den norska typen kan principiellt byggas hur hög som helst, så länge

grundläggningen är den rätta. Den högsta mur som byggts i Norge uppgår till cirka åtta meters höjd. I svåra terränger eller vid höga murar kan vissa block läggas på tvären med kortsidan ut för att få en mer stabil konstruktion. För att förstärka muren ytterligare kan geonät eller armeringsnät användas vid byggandet. Ju högre muren blir, desto mer bakfyllnad krävs.¹⁵ Vid hörnkonstruktioner skall blocken läggas i förband så att ingen genomgående vertikal fog bildas. Figur 3.15 visar en hörnkonstruktion utan vertikal fog. Den visar dessutom hur man kan



Figur 3.15 En hörnkonstruktion.



Figur 3.16 Blocken lyfts på plats med hjälp av grävmaskin.

¹⁸ Bjørn Erik Johnsen 2006-02-22

¹⁹ Leif Abrahamsen 2006-02-22

lösa en konstruktion med lutande överkant. I beskrivningen måste det vara klart beskrivet hur stora fogar som tillåts samt vilka krav som ställs på stenens yta. Man bör även ta ställning till gällande minimiförband, detta bör vara i proportion till blockets mått. Vid en höjd av 200 millimeter eller mer bör man ha minst 1/3-förband, med en blockhöjd på 200 millimeter blir det således minst 100 millimeters överlappning. Stenen skall inte vara kortare på längden än på höjden. Man skall undvika att placera mindre block i murens ytterkanter, används mindre block bör dessa läggas minst en sten in från murens slut. (Thorvaldsen 2003)

Blocken lyfts på plats med en traktorgrävare eller en grävmaskin, som i figur 3.16. Makadam fylls på bakom muren efterhand som denna byggs upp, som figur 3.17 visar.²⁰

För att öka säkerheten i konstruktionen kan blocken sammanfogas med dubbar. Ett stift av galvaniserat eller rostfritt järn borrar då in i under- och överliggande sten. Arbetet är både precisions- och tidskrävande. Detta innebär naturligtvis en stor merkostnad och enligt Bjørn Egil Eriksen är denna åtgärd inte nödvändig. Dubbning av murar kan förekomma då muren inte har märkbar lutning, som exemplet i figur 3.18, men är dock ovanlig.

Då plantering skall ske ovanför muren bör man säkra denna med en fiberduk mellan blocken och makadamen. Detta för att hindra att rötterna flyttar på stenarna och muren därför börjar luta.²¹

Murens överkant skall normalt vara horisontell. Detta innebär att om terrängen lutar måste muren bli högre i den ena änden. Om murens överkant ändå följer terrängen skall de stående fogarna vertikala och inte vinkelräta mot överkanten. (Sveriges Stenindustriförbund 2006)

3.1.8 Problematik

Även om man väljer sten med god hållfasthet är det inte säkert att man erhåller en stark mur. Beständigheten hos muren beror mycket på monteringen. Det är därför viktigt att välja en entreprenör som har dokumenterad erfarenhet av att bygga granitmurar, för att resultatet skall bli tillfredsställande. (A P Sten u.å)

Natursten är ett sprött material som kräver viss rörelsemån för att minska följderna av till exempel temperaturväxlingar eller trafiklast. Det är speciellt viktigt när muren sammanfogas med bruk. I en kallmurad blockstensmur är dessa problem mindre, men det kan ändå vara viktigt att vara medveten om dem. (A P Sten u.å)



Figur 3.17 I takt med att muren byggs upp fylls makadam på bakom denna.



Figur 3.18 Bilden visar en dubbad mur.

²⁰ Leif Abrahamsson 2006-02-22

²¹ Bjørn Egil Eriksen 2006-02-22

I vissa fall ordnas järninfästningar i stenen. Risken är då stor att järnet rostar, i samband med korrosionen ökar järnets volym och ger upphov till stora sprängkrafter. Även om stenen är av hög kvalitet kan denna spricka. Rosten ger dessutom rostutfällningar vilket misspyder stenen. För att undvika problemet bör alla fästen i stenen göras av rostfritt stål med god korrosionsbeständighet. (A P Sten u.å)

Liksom många andra byggnadsmaterial är fukt och vatten ett problem då dessa tränger in i konstruktionen. Att försöka förhindra att vatten tränger in bakom stenen är en omöjlighet. Vid projektering är det därför mycket viktigt att tänka på att vattnet skall dräneras bort från konstruktionen. (Sveriges Stenindustriförbund 2006)

3.1.9 Granitens livslängd och dess behov av skötsel

Natursten har lång livslängd och kräver minimalt underhåll. På ytor i skugga kan mossor och lavar etablera sig. Huruvida detta är estetiskt tilltalande eller inte är upp till varje enskild person att bedöma. Mossor eller lavar i sig ger stenen ingen påfallande nedsatt beständighet. (A P Sten u.å)

Skötselkostnaderna för muren blir låga, så länge rätt byggteknik och sten av god kvalitet används. Muren bör kontrolleras regelbundet och stenförskjutningar skall justeras vid behov. (Sveriges Stenindustriförbund 2006)

Granitens tekniska livslängd är betydligt längre än 100 år. Förutsatt att materialet har rätt kvalitet och monteringen är utförd på rätt sätt kan man räkna med en kalkylmässig period för avskrivning på 25 år. (Sveriges Stenindustriförbund 2006)

3.2 Stenfyllda gabioner

3.2.1 Konstruktion

Gabioner har använts för stödkonstruktioner och erosionsskydd i flera decennier och är enkelt förklarat nätkorgar av ståltråd. För torra förhållanden används burar byggda av varmförzinkad ståltrådtråd, se figur 3.19, men de kan också byggas av varmförzinkad och plastbelagd tråd och används då främst under vatten, i saltstänk och i sura miljöer. (Thulica u.å) Macceferri saluför även gabioner med en tråd kallad Galfan[®] som är belagd av 95 % Zink och 5 % Aluminium. Skyddet har inte bara en galvanisk utan även en passiv ytbarriär. Jämfört med vanlig varmförzinkning visar sig denna beläggning ha ett 4-5 gånger starkare skydd. För riktigt krävande miljöer kan en Galfan[®] tråd täckt med ett lager av polyetylen användas. (Officine Maccaferri S.p.A 2003)



Figur 3.19 Mur av gabioner.

En vanlig gabionkonstruktion har en rektangulär form. Gabionerna sammankopplas med varandra till olika formationer och fylls med stenmaterial med minsta fraktion 100mm. (Thulicas hemsida) Murar av gabioner är så kallade gravitationsmurar och skall därför väga så mycket som möjligt²². Till monteringen används klamrar som fästs med speciell

²² Tobias Granström 2006-05-12

klammermaskin eller vanlig bindningstråd som fästs för hand (Thulicas hemsida). Fördelen med gabioner är att de är lätta att montera och kräver ingen specialiserad personal eller utrustning. Konstruktionen kan även relativt enkelt kompletteras och byggas högre om detta är nödvändigt, förutsatt att stabiliteten i muren kontrolleras. (Officine Maccaferri S.p.A 2003) Gabionerna levereras uppvikta, vid montering viks de upp och fästs ihop med klamrar eller bindtråd. Nätburarna ställs på en bädd av välldränerande makadam och alla gabioner i ett lager binds samman till en enhet och fylls med stenmaterial. (Thulica 2006) Gabionerna har i regel inbyggda mellanväggar och för att skador inte skall uppstå på dessa får skillnaden mellan två olika fack inte överstiga 35 centimeter vid fyllningen. Gabionerna överfylls någon centimeter för att tillåta stenmaterialet att sjunka ihop något. Om muren består av flera lager gabioner sys dessa ihop så att hela muren består av en sammanhängande enhet. Gabionmuren bör luta 3-6° inåt. (Thulica 2006)

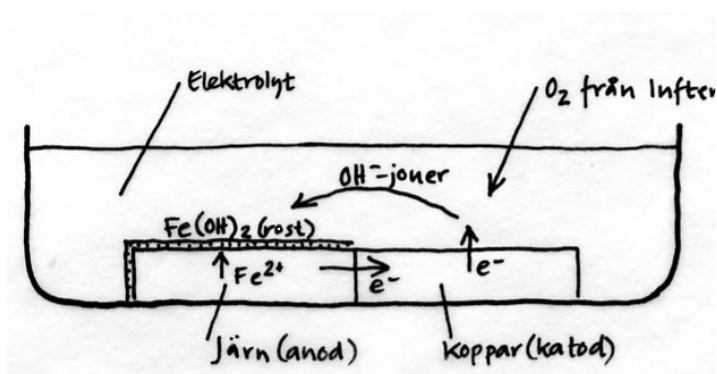
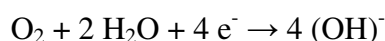
På grund av att burarna fylls med sten av så stora stenstorlekar är konstruktionen självdränerande (ViaCon u.å). Eftersom så stora fraktioner används sker ingen kapillär stigning i materialet och man slipper således frostsprängningar och tjällyftning (Thulicas hemsida). Då konstruktionen inte kräver någon dränering kan de totala kostnaderna hållas låga (Officine Maccaferri S.p.A 2003). Gabioner kan klara stora tryck- och skjuvpåkänningar utan att gå sönder, även i konstruktioner under vatten där de kan klara strömmar bättre än vanliga betongkonstruktioner (Thulicas hemsida).

3.2.2 Problematik - Korrosion

När en metall omges av en elektrolyt och syre uppstår korrosion. I luft med lägre relativ fuktighet än 60 % sker nästan ingen korrosion, men vid närvaro av syrliga gaser som svaveldioxid (SO₂) och klorider ökar korrosionshastigheten. Korrosionsprocessen kan ses som en helt naturlig process som är motsatt framställningsprocessen. De flesta metaller finns i naturligt tillstånd som oxider, sulfater, klorider, karbonater och liknande. Genom kemisk reduktion och tillförsel av energi förädlas dessa till metaller som sedan visar en tendens att vilja återgå till sitt mer energifattiga tillstånd. (Burström 2001)

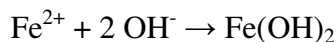
I figur 3.20 illustreras ett typiskt korrosionsförlopp. Ett föremål sammansatt av järn och koppar är nedsänkt i svagt salthaltigt vatten, här betecknas vätskan som elektrolyt eftersom joner kan förflyttas i denna. I det här sammanhanget blir koppars katod (negativ) eftersom den är en ädlare metall än järn. Järnet blir således anod (positiv).

Koppardelens negativa spänning innebär att den har ett överskott av elektroner som den eftersträvar att avge till elektrolyten. Om elektrolyten innehåller löst syrgas (O₂) kan denna ta upp dessa elektroner. Reaktionen blir då:



Figur 3.20 Schematisk bild av korrosionsförlopp (efter Burström 2001).

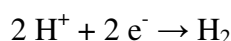
Syret fungerar här som en elektronacceptor, eftersom det möjliggör för elektrolyten att ta hand om elektroner från katoden. Avgången av elektroner från kopparskadan skadar inte denna eftersom nya elektroner tillförs från järndelen. Katoden tar alltså ingen skada vid korrosionsprocessen. Järndelens positiva spänning gör att en del järnatomer blir positivt laddade och övergår till järnjoner, Fe^{2+} . OH^- -jonerna är lättlösliga och attraheras av anoden där de förenar sig med järnjonerna enligt nedanstående reaktion:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ är en form av rost. Man skiljer på röd rost och svart rost. Röd rost bildas vid god syretillgång och svart rost syrefattig miljö.

För att korrosion skall uppstå krävs att det samtidigt föreligger

- Elektrolyt. Rent vatten kan fungera som en elektrolyt men förstärks om den innehåller exempelvis lösta salter. Vattnet kan finnas i form av en mycket tunn hinna, så tunn att ytan upplevs som torr. Korrosionen ökar på en yta som är förorenad av salt, smutspartiklar eller liknande eftersom mängden absorberat vatten ökar och även elektrolytens ledningsförmåga
- Potentialskillnad. I exemplet uppstod potentialskillnad genom att två metaller hade kontakt, men det kan också uppstå genom variation i elektrolytens sammansättning. Främst gäller detta variation i syrenehållet. Syrerika partier i elektrolyten blir då positivt laddade i förhållande till de syrefattiga. De syrerika partierna kommer att dra elektroner från metallen. Intill de syrefattiga partierna kommer metallen att agera anod, dvs här bildas rost. Metallen fungerar här både som anod och katod
- Elektronacceptor är i de flesta fall syre, som i ovanstående exempel. Om elektrolyten istället innehåller en syra kan vätejoner fungera som elektronacceptor istället



Elektronacceptorn förbrukas vid korrosionstillfället. Om inte ny elektronacceptor tillförs upphör processen. (Burström 2001)

Korrosionsangrepp kan ske genom jämn avfrätning eller genom punktvisa angrepp. De senare är speciellt farliga eftersom korrosionen är koncentrerad till en punkt och då orsakar försvagningar och kanske till och med hål i konstruktionen. (Burström 2001)

3.2.2.1 Varmförzinkning för att förhindra korrosion

Det finns flera sätt att motverka korrosion. Katodiskt skydd är ett av dem, som innebär att hela metallytan fungerar som en katod. Ett sådant skydd kan fås genom att metallen beläggs med ett lager av en oädlare metall som då fungerar som en anod. En vanlig kombination är stål och zink, där zinken blir anod och skyddar stålet. Varmförzinkning innebär att stålet sänks ner i ett zinkbad och beläggs med ett 70-200 μm tjockt zinklager. Förzinkning kan även ske på elektrolytisk väg, så kallad galvanisering, men det erhållna skiktet är då tunnare och har betydligt kortare livslängd. (Burström 2001)

3.2.3 Gabioners skötselnivå och livslängd

Gabioner är relativt underhållsfria. Enligt både Thulica (u.å) och ViaCon (u.å) har gabioner minst lika lång livslängd som en motsvarande betongmur. Ofta räknar man med samma livslängd men oftast håller gabioner betydligt längre (Thulica u.å). Oberoende internationella organ har bestämt en livslängd hos gabioner av plastbelagd Galafan[®] tråd till över 60 år

(Officine Maccaferri S.p.A 2003), medan Tobias Granström på Thulica AB hävdar att dessa har en livslängd på 120 år. Gabioner byggda av galvaniserad tråd har en beräknad livslängd på 30-40 år.²³

3.3 Platsgjuten betongmur

3.3.1 Betongens sammansättning

Huvudbeståndsdelarna i betong är cement, vatten och ballast, se figur 3.21. Cement är ett hydrauliskt bindemedel, dvs. det hårdnar genom en reaktion med vatten till en produkt som är beständig mot vatten. Vid tillverkningen av cement finmås kalksten och lera och upphettas till 1450°C. Materialet får då formen av små kulor, så kallade cementklinker. Cement framställs genom att dessa mals ner och blandas med gips. Gipsets funktion är att reglera cementets bindning som annars skulle bli för snabb. (Burström 2001)

Vitcement är en cementtyp innehållande speciellt rena råmaterial och framställs genom ett särskilt brännings- och malningsförfarande. Vitt cement reflekterar ca 85 % av infallande ljus, medan vanlig cement bara reflekterar 35-40 %. (Hertzell 2002) Detta ger cementet en vit färg.

Vitcement används då man vill få vita ytor och för att ge klara färger vid pigmenterad betong. Cementtypen skiljer sig inte från vanligt cement avseende hållfasthetsutveckling. (Burström 2001)

Ballast är bergartsmaterial i form av sand, grus, singel och makadam som är avsett för att användas vid betongtillverkning. Den är betongens dominerande beståndsdel och utgör 65-75 % av den totala volymen eller ca 80 % av vikten. För att få en homogen betong bör ballasten vara uppdelat i minst två grovlekar i lämpliga proportioner. De mindre kornen kan fylla ut hålrummen som blir mellan de större. De återstående hålrummen fylls ut av cementpastan som limmar samman partiklarna. De flesta bergarter i Sverige ger bra ballastmaterial för betongtillverkning. (Burström 2001) Ballasten bör dock vara fri från organiska ämnen, lera, slam och klorider, då dessa kan försena eller förhindra betongens hårdnande (Hertzell 2002).

Fasgränsområdet är ett tunt skikt som skiljer cementpastan från ballasten. Detta är av stor betydelse för betongens egenskaper genom att det är porösare än cementpastan och därigenom svagare. (Hertzell 2002) Det är främst fasgränsområdet i betongen som begränsar dess tryckhållfasthet, eftersom det är den svagaste länken i materialet. Ballastens hållfasthet har större betydelse vid andra hållfasthetsegenskaper hos betongen, som draghållfasthet och nötningsmotstånd. För konstruktioner som utsätts för stor nötning krävs ett hårt och segt ballastmaterial. Här är i regel finkristallint material bättre än grovkristallint. För svenska



Figur 3.21 Schematisk bild över betongens sammansättning (efter Hertzell 2002).

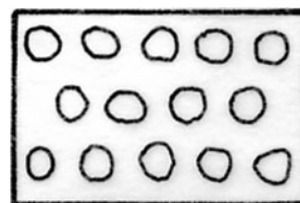
²³ Tobias Granström 2006-05-09

ballastmaterial är det dock sällan nödvändigt att bestämma hållfastheten närmare. (Fagerlund 1994A)

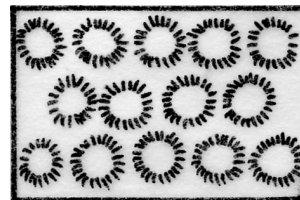
Cementpastans egenskaper bestäms av proportionerna mellan vatten och cement, det så kallade vattencementtalet (Burström 2001), och av proportionerna mellan vatten och bindemedel, även kallat vattenbindemedelstal. Flygaska, slagg och silikatstoft är exempel på bindemedel (Fagerlund 1994A). Ballastpartiklarna är normalt starkare än cementpastan, en riktigt komprimerad betong får därför en hållfasthet som helt beror på cementpastans hållfasthet. Med ökad andel vatten blir cementpastan svagare. (Burström 2001)

För att påverka betongens egenskaper i önskad riktning finns ett flertal tillsatsmedel med fysikalisk eller kemisk verkan. Accelererande tillsatsmedel påskyndar betongens härdande eller hållfasthetsutveckling men kan skapa korrosion hos eventuell armering. Luftporbildande tillsatsmedel ger betongen bättre frostresistens genom att det bildas små, jämnt fördelade luftblåsor i betongmassan och som kvarstår efter hårdnandet. Tillsatsmedlet ökar även betongens bearbetbarhet och bidrar till en bättre komprimering. Med luftporerna minskar dessutom risken för separation genom att de stabiliserar de tyngre ballastkornen. Retarderande tillsatsmedel används främst vid varm väderlek och fördröjer betongens tillstyvnande och denna blir således bearbetbar under en längre tid. Med vattenreducerande eller plasticerande tillsatsmedel kan arbetbarheten ökas i betongen utan att vattencementtalet behöver höjas. (Hertzell 2002)

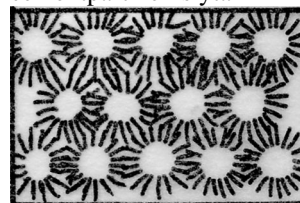
När cementet blandats med vatten och ballast startar en hårdnandeprocess där betongen övergår från färskt till hårdnat tillstånd, se figur 3.22. I och med att vatten tillsätts startar en reaktion mellan cement och vatten, så kallad hydratisering. Reaktionen börjar först vid cementkornens yta, där det växer ut ett gytter av gelpartiklar (b). Dessa består främst av kalciumsilikathydrat. Efter hand som hydratiseringen fortsätter växer gelet och fyller successivt ut utrymmet mellan cementpartiklarna. När det vuxit ut så mycket gel från partiklarna att det möter gel från angränsande cementpartiklar börjar betongen styvna (c). Detta sker normalt efter någon eller några timmar. När cementgelet vuxit ihop ytterligare (d), kan betongformen tas av och betongen kan klara viss belastning. Hållfasthetstillväxtens hastighet beror på cementklass, cementtyp och temperatur. Gelbildningens storlek beror på vattencementtalet. Vid ett vattencementtal på 0,39 hydratiseras all cement och utrymmet mellan cementpartiklarna fylls helt ut med gel. Är vattencementtalet lägre räcker vattnet i blandningen inte till för att all cement skall hydratiseras och cementpastan kommer att bestå av cementgel och ohydratiserade cellkärnor. Om vattencementtalet är större än 0,39 kan all cement hydratiseras men avståndet blir för stort för att mellanrummet mellan partiklarna skall kunna fyllas ut med gel. Betongen blir otätare för både vatten och luft ju större vattencementtalet är. Risken för frostsador ökar och även risken för att vatten och klorider skall tränga in i betongen och orsaka korrosion. Betongen kan dock i stort sett ses som vattentät så länge vattencementtalet är lägre än 0,6. (Hertzell 2002)



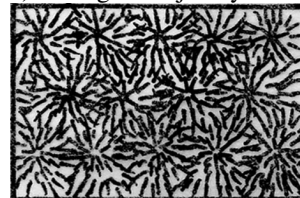
a) cementpartiklar och vatten



b) ett gytter av gelpartiklar växer ut från cementpartikelns yta



c) betongen börjar styvna...



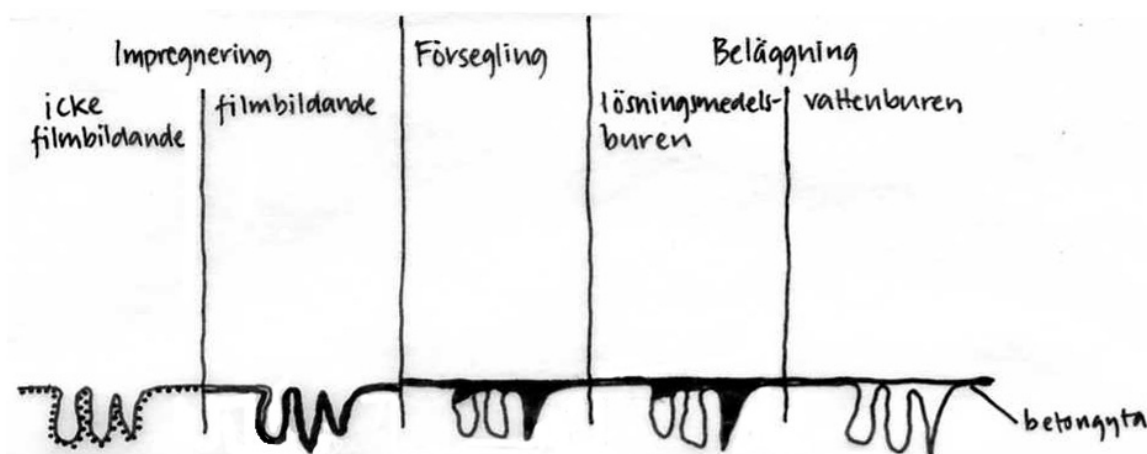
d)...och hårdnar till slut helt.

Figur 3.22
Hydratiserings-
förloppet hos betong.

Eftersom betong har hög tryckhållfasthet men låg draghållfasthet används armering för att ta upp dragpåkänningarna i materialet²⁴. Betongens armering har en väsentlig betydelse för bärförmågan hos konstruktionen (Hjort 1992). Armeringsstången förankras till en början fast i betongen genom kemisk vidhäftning men denna är i regel inte särskilt stark. När denna brister förankras istället armeringsstången fast i betongen genom friktion. Denna friktion förbättras genom att man valsar kammar eller profiler på stångens yta. Ju tätare kammarna sitter, desto högre hållfasthet ger stången. (Burström 2001) Armeringsstänger kan även framställas av rostfritt stål med en hållfasthet upp till 700 MPa. Problemet med dessa stänger är att vidhäftningsförmågan sjunker eftersom det rostfria stålet har en slätare ytstruktur. Det rostfria armeringsstålet är inte korrosionsfritt i alla miljöer utan gropfrätning kan förekomma i närvaro av halogenjoner. I miljöer där betongen utsätts för sura sulfater kan förzinkade armeringsstänger användas. De kan också användas vid armering av vitcement, eftersom eventuella rostfläckar då annars skulle framhävas starkt. Förzinkningens lämplighet i kloridhaltiga miljöer är ännu ej helt klarlagt. Zinklagret kan reagera med den färska betongens alkaliska komponenter och vätet som bildas vid reaktionen kan orsaka blåsor eller porer i skiktet närmast armeringen. Detta försvagar betongen och därigenom vidhäftningen hos armeringen. Reaktionen kan dock förhindras med hjälp av kromater. Då betongen inte innehåller kromater kan armeringen behandlas med en kromatlösning efter förzinkningen. Förzinkning kan utan vidare problem utföras på stänger upp till 650 MPa hållfasthet, stänger med högre hållfasthet än 800 MPa bör ej förzinkas. (Tepfers 1994)

3.3.2 Ytbehandlingar av betong

Ytbehandling av betongen kan göras för att förändra ytans struktur och kulör men kan även avvärja skador orsakade av kemisk påverkan. En täckbildande behandling ger en yta som är lättare att rengöra än en obehandlad men kan beröva betongen dess karaktärsegenskaper, som struktur och mönster. Vill man utnyttja dessa är lasering en mer lämplig behandlingsmetod. En målningsbehandling kan förhindra eller bromsa skadeframkallande processer orsakade av angrepp utifrån. De vanligast förekommande skadorna orsakas av karbonatisering eller att klorider som till exempel vägsalt tränger in i betongen. Skador orsakade av frostsprängning och cementballastreaktioner är inte ovanliga men mindre vanliga. Figur 3.23 visar olika ytbeläggningars yttjocklek och dess grad av inträngning i betongen. (Hertzell 2002)



Figur 3.23 Ytbehandlingar kan delas in i fyra huvudgrupper efter skiktjocklek och mått på inträngning i betongen (efter Hertzell 2002).

²⁴ Torsten Hörndahl 2005-09-26

Icke filmbildande impregnering.

Den här typen av impregnering tränger in i betongen och reagerar i regel med denna och sätter sig på porväggarna. Dessa blir hydrofoba och därmed försvåras vatteninträngning i materialet. Vattenånga och andra gaser kan dock fortfarande passera genom ytbehandlingen eftersom porerna förblir öppna. Impregneringen är i regel färglösa och påverkar inte betongens utseende nämnvärt. Funktionen hos impregneringen är starkt beroende av inträngningen, ytlig inträngning medför att betongen är känslig för åldring. Inträngningen i sig beror på betongens permeabilitet, dvs dess egenskap att släppa igenom vätska under tryck, och dess fuktinnehåll samt impregneringsmaterialets molekyelstorlek och ytegenskaper. Ej filmbildande impregneringar ger bra skydd mot klorider, frostsador, cementballastreaktioner och pågående armeringskorrosioner men kan öka karbonatiseringsprocessen i betongen. (Hertzell 2002)

Portätande impregnering.

Impregneringar av den här typen är helt eller delvis filmbildande och tränger in någon eller några millimeter i betongen och tätar porerna. Ytbehandlingen hårdnar genom kemisk reaktion och har god väderbeständighet. Den är i regel färglös men kan ändå ge en liten färgförändring i materialet. Den här typen av impregneringar är inte beständig mot kemiska angrepp och kan resultera i vattenabsorption om ytbehandlingen är felaktigt utförd. Portätande impregneringar används främst inomhus. (Hertzell 2002)

Filmbildande förseglingar.

Filmbildande försegling är ett mellanting mellan impregnering och beläggning. Den tränger till viss del in i betongen men skapar även en film på ytan. Ytbeläggningen används som ett tätande skikt eller som primer till en tjockare beläggning. (Hertzell 2002)

Beläggningar.

Beläggningar skapar ett ganska tjockt skikt på betongytan och är ofta pigmenterade. Hur skyddande och väderbeständig beläggningen blir beror på dess tjocklek. Beläggningen bör appliceras i två eller flera skikt. Den torra filmen bör totalt vara minst 300 µm. Beständigheten mot kemisk och mekanisk påverkan ökar med tjockleken. I riktigt utsatta lägen kan beläggningen stärkas med fiberarmering och bör då vara extra tjock. (Hertzell 2002)

3.3.3 Platsgjutning

Utseendet och formen hos betongkonstruktionen är mycket beroende av gjutformens konstruktion och utförande. Formens huvudsyfte är att fixera betongen i rätt läge tills tillräcklig hållfasthet uppnåtts och konstruktionen är självbärande. (Nilsson 1992)

Betongen placeras i formen i skikt. Påfyllnadsskikten bör inte överstiga 30 cm, detta för att luft skall kunna avgå från betongen när varje skikt vibreras. Betongen bör appliceras i formen så att separation undviks. Den fria störlhöjden skall ej överstiga en meter då risk föreligger att bruksseparation sker. Bruksseparation innebär att ballasten sjunker i bruket och ett skikt av cementbruk bildas i ytan. Detta ger en ojämn koncentration sten i ytterskiktet och medför risk för sänkt avnöttningsbeständighet, frostavskalning och sprickbildning på grund av ojämn krympning. (Hertzell 2002)

Betongmassans temperatur den första tiden efter gjutningen har stor inverkan på betongens hållfasthetstillväxt. Låga temperaturer ger en långsam hållfasthetsutveckling och hög

temperatur ger en snabb, alltför höga temperaturer skadar betongen. (Hertzell 2002) Man bör se till att härdningen pågår utan avbrott tills behövlig härdningsgrad har uppnåtts. Tiden som krävs för härdningen är beroende av flera faktorer som önskad betongegenskap, tillåten avvikelse från optimalt resultat, härdningsmetodens effektivitet och betongens sammansättning. Vid höga krav på betongens täthet och beständighet är det ur kvalitetssynpunkt bättre ju längre härdningen kan fortgå. Fukthärdningen bör då pågå så länge det är praktiskt möjligt och ekonomiskt försvarbart. Det är också viktigt att beakta risken för frostpåverkningar och fukthärdningen bör därför avslutas så att konstruktionen hinner torka ut innan frosten sätter in. (Möller 1992)

Det är speciellt viktigt att härdningsåtgärder sätts in tidigt vid förhållanden som åstadkommer en snabb uttorkning. För att begränsa uttorkningen kan speciella skydd mot vind och sol behöva användas. (Möller 1992)

Betongen börjar styvna gradvis på grund av vätskeavdunstning och cementets reaktion med vatten och redan efter några timmar blir betongen inte längre komprimeringsbar (Ljungkrantz 1994). För att cementreaktionerna skall kunna ske oförhindrat är det viktigt att betongen har tillgång till vatten. Den nygjutna betongen måste skyddas mot uttorkning, frysning och snabba temperaturväxlingar eftersom dessa orsakar fysikaliska rörelser i materialet. Rörelserna kan annars resultera i nedsatt hållfasthet eller sprickor. (Hertzell 2002) En bristfällig härdning kan på flera sätt förstöra ett tidigare väl utfört arbete genom att det leder till en försämring av betongens hållfasthet, täthet och beständighet (Möller 1992). Att försumma härdningen kan leda till upp till 50 % hållfasthetsförlust (Hertzell 2002). De yttre partierna, de delar som i regel är mest avgörande för konstruktionens beständighet, är här de mest utsatta (Möller 1992). Hållfasthetsförlust undviks bäst genom att härda betongen under gynnsamma temperatur- och fuktförhållanden (Hertzell 2002). Härdningen kan ske antingen genom att tillsätta fukt till betongen eller genom att försvåra vattenavgången från denna (Möller 1992). Tillförsel av vatten bör ske i ett tidigt skede men ej så tidigt att ytan skadas mekaniskt av detta då vatten som blir stående på den nygjutna ytan orsakar kalkutfällningar (Hertzell 2002).

Betongen kan normalt avformas först när tryckhållfastheten nått 2 MPa. För formar med fint detaljerat mönster bör dock formen sitta kvar tills hållfastheten är 3 MPa. Betongytan skall sedan inte utsättas för frost förrän 5 MPa tryckhållfasthet uppnåtts. I praktiken bestäms dock vanligtvis tidpunkten för avformningen av en tidplan, vilket gör det ännu viktigare att åstadkomma tillfredställande förhållanden under härdningstiden, innan formen avlägsnas. (Hertzell 2002)

3.3.4 Problematik hos betongkonstruktioner

Hot som kan uppstå mot en betongkonstruktions beständighet är frostangrepp, armeringskorrosion och kemiska angrepp. I Sverige utgörs de största hoten mot betongens beständighet av frostangrepp och armeringskorrosion. Kemiska angrepp är mindre vanliga. (Fagerlund 1994B)

3.3.4.1 Frostangrepp

Frostsprängning i betongen uppstår när vatten i porerna fryser. När vatten fryser till is ökar dess volym med 9 %. Härdnad betong har en porositet mellan 12 och 20 %. Vid normal utomhusanvändning av betong fylls dessa porer snabbt med vatten och när betongen fryser övergår en viss del av porvattnet till is. Betongen kan då skadas allvarligt av de stora spänningar som skapas i materialet då vattnets volym ökar. Skaderisken ökar med ökad fuktbelastning och med ytans utsatthet för saltlösningar. (Burstrom 2001)

Luftinblandning i betongen ger positiva effekter på frostbeständigheten. Betong som saknar luftinblandning är speciellt utsatt för frostsprängning. (Burström 2001) Normalt innehåller betongen 1-3 % luftporer, genom att tillsätta luftporbildande tillsatsmedel åstadkommer man konstgjorda porer som ger porvattnet tillräckligt expansionsutrymme vid frysning (Hertzell 2002). Även en mindre andel vatten i cementpastan ger en bättre frostbeständighet (Burström 2001).

Porerna i betongen innehåller alltid en viss mängd mer eller mindre hårt bundet vatten. Till att börja med fylls det finare porsystemet, det vill säga gel- och kapillärporerna. De grövre porerna och luftinblandningsporerna fylls först efter en lång tids vattenabsorption. Vattnets fryspunkt sjunker med minskad porstorlek. En liten por kan innehålla vatten med en fryspunkt på -20°C och fryser således inte vid vattnets normala fryspunkt. Ett sänkt vattencementtal ger en tätare betong med finare luftporsystem och därmed en långsammare vattenupptagning, vilket resulterar i en mindre mängd vatten. Teorier finns om att ett mycket lågt vattencementtal skulle kunna göra betongen immun mot frysskador eftersom frysbart vatten då saknas. Det är dock oklart hur lågt vattencementtal som erfordras för att få denna effekt. (Fagerlund 1994A)

Frostskador uppenbarar sig ofta genom mer eller mindre tjocka avflagningar på betongytan. Flagorna får ett skrovligt utseende och i vissa fall kan grövre ballastkorn friläggas och till och med lossna. Avflagning är speciellt vanligt när betongytan kan komma i kontakt med lösalter, havsvatten eller bräckt vatten och är oftast koncentrerade till partier som är extra fuktiga, som till exempel i genomgående fogar. Fuktnivån är större i betongens yta och därför är denna mer utsatt för frostskador. Man kan dock inte utesluta att skadorna även finns längre in i konstruktionen. I vissa fall är det bara här de uppstår. Skadan kan då observeras genom att täta, grova och djupa sprickor löper i alla riktningar över ytan och är förenade med varandra. Ytan kan vara helt fri från avflagningar. Inre frostskador är vanligt där konstruktionen står i kontakt med vatten så att detta kan sugas upp kapillärt. Då tillåts fukten från ytorna att avdunsta medan vatten inuti konstruktionen stannar kvar. (Fagerlund 1994A)

3.3.4.2 Armeringskorrosion

Ingjutet armeringsstål befinner sig normalt i ett passivt tillstånd eftersom betongens höga pH-värde medför att ingen korrosion sker. Detta passiva tillstånd kan brytas på två sätt. Luftens koldioxid kan tränga in i betongen och reagera med kalciumhydroxid och bilda kalciumkarbonat. Processen kallas karbonatisering. Detta medför att pH-värdet sjunker och korrosionsprocessen startar. Dels reduceras armeringsstålets tvärsnittsarea och lastupptagningsförmågan påverkas. Rosten upptar också större volym än det ursprungliga stålet och kan skapa ett tryck så att betongen spricker längs armeringen. Armeringsstålets passiva tillstånd kan även brytas genom att klorider i vissa miljöer tillåts tränga in i betongen. Så länge halten av kloridjoner inte blir för hög sker ingen korrosion, men då kloridjonkoncentrationen blir högre startar en gropfrätning som kan leda till att armeringsjärnet rostar av. (Burström 2001)

Armeringskorrosion förhindras bäst genom att betongen görs tät med ett lågt vattencementtal och att betongen komprimeras och fukthärdas väl (Byfors 1994).

3.3.4.3 Kemiska angrepp

Cementpastan är starkt basisk och löses upp av oorganiska syror som är vanliga i industriella sammanhang. Angreppet sker från ytan under förutsättning att betongen har en normal täthet.

En skyddsåtgärd är att använda en tät betong med lågt vattencementtal. Även rent vatten kan förstöra betongen om det får strömma fritt genom denna. Vattnet löser ut kalciumhydroxid ur cementen och vid för stor kalkförlust bryts cementet ner. Kalkurlakningen kan så småningom leda till stora hållfasthetsförluster i betongen. (Burström 2001)

3.3.5 Livslängd och beständighet hos betong

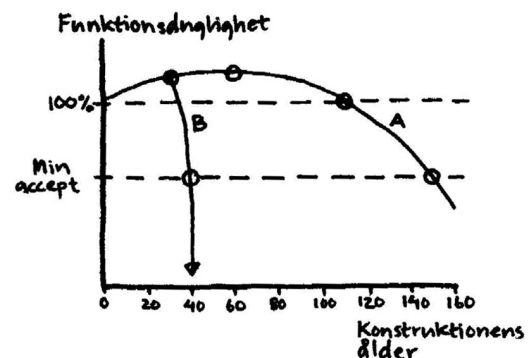
Beständigheten och livslängden hos betongkonstruktioner avgörs främst av faktorer som

- Betongens täthet, vilken bestäms av vattenbindemedelstalet, bindemedelstypen, komprimeringen och härdningssättet
- Den kemiska sammansättningen hos cementpastan, vilken avgörs av bindemedlets typ och vattenbindemedelstalet
- Minerologisk sammansättning hos ballasten
- Luftporstruktur

Av dessa faktorer är troligtvis tätheten av störst betydelse, övriga faktorer spelar mindre roll då cementpastan är tillräckligt tät. (Fagerlund 1994B)

Betongens funktionsduglighet varierar med tiden. I början dominerar de positiva miljöeffekterna och funktionsdugligheten växer. Positiva miljöeffekter är fortgående hydratation av cementkorn och självläkning av defekter i betongen. Betongens hållfasthet växer således den första tiden, vilken kan betyda allt från ett decennium upp till i bästa fall ett sekel. Efter en tid kommer de

nedbrytande mekanismerna att dominera och funktionsdugligheten får en snabb minskning. Angrepp på betongmaterialet ger en långsam nedgång medan ett angrepp på armeringen ger en betydligt snabbare försämring och ibland en tidig kollaps av konstruktionen. I figur 3.24 ser vi hur funktionsdugligheten hos konstruktion A tillväxer under lång tid. Den långsamma nedbrytningen av betongmaterialet dominerar över uppbyggnads- och läkningsprocesserna först efter 60 år och så sent som efter 150 år nås den lägsta acceptabla funktionsdugligheten. Hos konstruktion B börjar en snabb nedbrytning redan efter 30 år, eftersom armeringen då börjar korrodera. Oacceptabel nivå nås redan efter 40 år. (Fagerlund 1994B)



Figur 3.24 Principiell funktionsduglighet hos två olika betongkonstruktioner. (efter Fagerlund 1994B)

Det är omöjligt att förutse den framtida mikromiljön omkring konstruktionen då denna utgörs av slumpvis fördelade variationer. Hade man kunnat förutse hur miljön kring konstruktionen skulle se ut i framtiden hade man kunnat räkna ut den verkliga livslängden. Istället måste man i laboratorium framställa en standardiserad miljö, som så långt det är möjligt efterliknar den verkliga miljön. På så sätt kan man räkna fram en potentiell livslängd. (Fagerlund 1994B)

Åldrandet hos betong kan delas in i mekaniskt slitage, patinering och nedsmutsning. Patinering ses i många fall som en accepterad konsekvens av tidens gång och orsakas ofta av alger eller mossor samt att cementskivan hos betongen eroderas eller slits bort. Patinan i sig medför inte någon nedsatt hållfasthet i betongen utan kan enbart ses som ett åldringstecken. Betong med lågt vattencementtal och hög stenhalt har i övrigt gott motstånd mot avnötning. Även ballastens hållfasthet har inverkan på betongens motståndsförmåga mot avnötning, genom att ballastkornen har större slitstyrka än cementpastan. Det är dessutom mycket viktigt

att den nygjutna betongen härddas på rätt sätt genom att den fuktas och skyddas mot frysning med mera för att betongens bästa egenskaper skall erhållas. (Hertzell 2002)




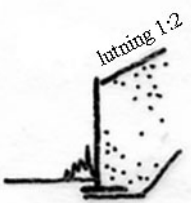
3.4 L-Stöd/T-Stöd

3.4.1 Konstruktion

En prefabricerad stödmur dimensioneras för att klara en viss belastning, från 4 kN/kvadratmeter till 20 kN/kvadratmeter. Vilken mur som är lämplig bestäms utifrån den övre ytans lutning och lastens storlek (S:t Eriks u.å), se tabell 3.4. Stödmurselementen monteras på en väl packad och dränerad grusbädd enligt Anläggnings AMA 98, kapitel CEB.422 och sammanfogas med krympningskompenserat bruk, K40. Urschaktningens djup bestäms av materialet i undergrunden, vid undergrund av tjälfarligt material klass 2, 3 eller 4 bör schakt ske till frostfritt djup. Efter urschaktningen skall återfyllning ske med material av typ 1 eller 2. Vid stor skillnad i kornstorleksfördelning skall materialskiljande lager användas mellan undergrund och återfylldnad. Fyllningen skall utföras lagervis och packas. Då risk föreligger att vatten blir stående i grundläggningens bädd eller bakom stödmuren skall dränering utföras med dräneringsrör. Dess placering bestäms utefter varje enskilt fall. (Skanska prefab u.å)

Den maximala nivåskillnad som L-stöd kan ta upp är 1,9 meter medan T-stöd kan ta upp en nivåskillnad på 4,3 meter (Skanska prefab u.å).

Tabell 3.4 Laster (efter Skanska prefab u.å).

Typ av L-stöd/T-stöd	Användningsområde
 4kN/m ²	Trädgård och parkanläggningar. Max axeltryck 15 kN; enstaka personbilar och renhållningsfordon
 10kN/m ²	Väg och gatubyggnad. Max axeltryck 90kN; lätt fordonstrafik.
 20kN/m ²	Väg och gatubyggnad. Max axeltryck 180kN; normal eller tung fordonstrafik.
 slänt	Överyta med lutning 1:2 eller mindre.

3.5 Blockstensmur i betong

3.5.1 Konstruktion

Betongblock är oarmerade och eftersom de tillverkas i förhållandevis små dimensioner kan de serietillverkas. Tillverkningsprocessen är i hög grad automatiserad och skiljer sig, tillsammans med markplattor, marksten och rör, från andra produkter genom att de avformas före härdningen. Samma form kan på så sätt användas igen direkt efter gjutningen och låses

inte under härdningstiden. Betongtekniken är specialiserad för ändamålet och så är även maskiner och transportredskap. (Eriksson 1992)

Det finns två huvudmetoder inom tillverkningen av betongprodukter för mark. Våtpressning är lämpligt vid tillverkning av släta och mönsterpräglade plattor, medan torrpessning är lämplig för komplicerade former eller små ytformat. Vid våtpressning fylls formen med relativt våt betong och sedan pressas vattnet ur formen med hjälp av vakuum. Torrpessning innebär att formen fylls med en mycket torr betong som sedan utsätts för ett kraftigt tryck i kombination med kraftig vibrering eller stampning. (Åhström 1992)

Produkterna läggs efter tillverkningen i en härdkammare för att påskynda hållfasthetsutvecklingen. Här tar man vara på den värme som utvecklas då betongen härdar. Golvets begjuts med vatten för att luftfuktigheten i härdkammaren skall hållas hög. För att få en ännu snabbare hållfasthetstillväxt kan varm ånga tillföras vid härdningen, så kallad ånghärdning. Efter ett dygn i kammaren läggs produkterna på lager och levereras inte förrän de uppnått den föreskrivna 28-dygnshållfastheten. (Åhström 1992) Betongens hydrationsförlopp bestäms av betongens temperatur. Det är därför egentligen oväsentligt på vilket sätt värmen tillförs betongen eftersom man inte kan påverka förloppet genom val av värmehärdning. Olika värmekällor kan däremot vara olika effektiva som värmeförare och kan skapa problem med uttorkning och ojämn temperaturfördelning. (Möller 1992)

Projekteringen av kallmurade stödmurar i betong är starkt beroende av de laster muren utsätts för, materialet i undergrunden, nivåskillnader samt markens dräneringsförhållanden (Skanska prefab u.å). I normala fall byggs stödmuren på en väl packad grusbädd (S:t Eriks u.å) men grundläggningen kan även ske på fast fundament med längsgående armering eller i jordfuktig betong (Skanska prefab u.å).

3.5.2 Problematik

Inom betongindustrin används värmehärdning vid 50-80°C för att få en hållfasthet på kort tid och därmed en tidig avformning (Herzell 2002). Att härda betong under höga temperaturer innebär en risk för försämring av betongens kvalitet i senare åldrar, avseende både hållfasthet och beständighet. Betongens olika beståndsdelar utvidgas olika vid värmetillförseln. Den inneslutna luften i betongen orsakar ett portryck som leder till ökad porositet, volymbildning och inre sprickbildning. Även på kort sikt försämras betongens hållfasthet försämras samt att permeabiliteten ökar, vilket medför att värmebehandlingen ger en ogynnsam inverkan även på korttidshållfastheten. (Möller 1992)

4 Släntstabilitet

4.1 Bakgrund

Vid all byggnation ligger terrassens beskaffenhet och de geotekniska förhållandena till grund för en konstruktions utformning. Man måste se till jordens förutsättningar och egenskaper för att få en hållbar lösning. Det finns en rad olika jordarter, med varierad sammansättning där vissa jordar kräver extra åtgärder för att kunna bära en konstruktion. Nedan följer en beskrivning av de vanligaste jordarterna och dess egenskaper. För att säkerställa en jords stabilitet och komma fram till eventuella åtgärder bör geotekniska utredningar göras innan byggnation.

4.2 Jordarter

Jord bildas av sönderdelat berg samt rester av växter och djur. Beroende av sammansättning delas den in i olika jordarter. Jord byggs upp av tre element; *fast material* i form av mineralpartiklar och organiskt material, *vätska* av vatten och olika ämnen med olika koncentrationer, samt *gas* av olika slag. Det fasta materialet fyller inte en jord utan mellan partiklarna finns vatten och gas. Dessa hålrum kallas porer, där porernas sammanlagda volym kallas jordens porvolym. En jords porositet är porvolymens andel av den totala jordvolymen och anges i procent. Under grundvattenytan är porerna helt fyllda av vatten, dvs. vattenmättad jord. Vattenmättnadsgraden anger mängden vattenfyllda porer. Vattenmättad jord har vattenmättnadsgraden 1.0 då vattenvolymen är lika stor som porvolymen. Grövre jordar har få och stora porer medan finkornigare jordar har fler, fast mindre. Porvolymen påverkas även av lagringstätheten, ju mer packad och tät en jord är desto mindre porvolym. Lera kan till exempel utgöras av 80 % porer som i regel är vattenfyllda. Belastas denna jord pressas porvattnet ut och sättningar uppstår. (Angelstam mfl 1997)

Morän som är en av Sveriges vanligaste jordart innehåller olika mängder av sten, grus, sand, silt och ler. Kornens storlek och packningsgrad påverkar jordens förmåga att släppa igenom, suga upp och hålla vatten. Ju mindre korn, desto sämre förmåga att släppa igenom vatten, (permeabilitet). Jord delas in i olika fraktioner, se tabell 4.1. (Rankka 2003)

Tabell 4.1 Jordartsindelning (Ferdén 1998)

Kohesionsjordar							Friktionsjordar							
					Mellanjord									
Korn- storlek,	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200	600	2000 mm	
Fin- ler		Fin- silt	Mellan silt	Grov- silt	Fin- sand	Mellan sand	Grov sand	Fin- grus	Mellan grus	Grov grus	Mellan sten	Grov sten		Grov block
ler		silt			sand			grus			sten		block	

4.2.1 Lera

Leror bildades genom avsättning av sediment på hav och sjöars botten. Lera är en jordart med mycket små korn, dvs. mindre än 0,002 millimeter och som innehåller mycket vatten. (Rankka 2003)

Kvicklera är en typ av lera, som kan bli helt flytande om den störs. I saltvatten fick lerorna en speciell struktur, då saltet medförde att partiklarna klumpades ihop till aggregat innan de avsattes på botten. Dessa leror innehöll en stor mängd vatten. Landhöjningen har medfört att de lager med lera som tidigare låg under vatten har kommit upp ovanför vattenytan. Sötvatten har på så sätt börjat strömma genom lagren och saltet urlakas. Aggregaten hålls på så sätt inte

ihop längre och man har fått så kallad kvicklera. Kvicklera kan även bildas lokalt, genom förändringar i porvattnet exempelvis genom infiltration av humussyror från torvmossar eller virkesupplag. (Rankka 2003)

4.2.2 Silt

I siltjord har kornen en fraktion av 0,002 till 0,06 millimeter. Silt är i regel fast i torrt tillstånd, men kan bli farlig om den innehåller mycket vatten. Jorden suger upp vatten och håller det kvar. Skred och tjälskador kan på så sätt lätt uppträda i en jordart som innehåller mycket silt och är vattenmättad. (Rankka 2003)

4.2.3 Sand och grus

Sand har ett fraktionsintervall på 0,06 till 2 millimeter och grus från 2 till 60 millimeter. Sand och grus påträffas ofta tillsammans med andra fraktioner och har stor vattengenomsläppighet och torkar därför snabbt. Hållfastheten i en sand- och grusjord påverkas främst av tryck- och friktionskrafter mellan kornen. En jord under grundvattennivån har mindre tryck- och friktionskrafter, vilket gör att denna inte håller ihop lika starkt. Även lutningen påverkar en slänts stabilitet. (Rankka 2003)

Friktionsvinkel är den vinkel som sand eller grus normalt rasar i. För sand och grus ligger den vinkeln på 30-40°. En slänt av sand och grus kan i stort sett bli hur hög som helst så länge lutningen inte överstiger 30-40°. (Rankka 2003)

4.3 Jordarters geotekniska egenskaper

Med en jordarts geotekniska egenskaper menas läran om jords och bergs tekniska egenskaper samt hur de kan användas i byggsammanhang. En jords egenskaper, beteende och förmåga att bära en konstruktion påverkas främst av jordens beståndsdelar, jordlagerföljd, lagertjocklek, vatteninnehåll samt yttre påverkan i form av belastning och klimat. De viktigaste faktorerna som styr egenskaperna är halten av mineralkorn och organisk substans, mineralkornens storlek, form och kornfördelning samt jordens vatteninnehåll. (Angelstam mfl 1997)

4.3.1 Bärighet

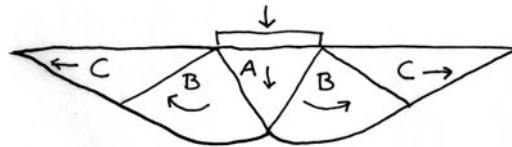
Vid all typ av byggnation måste hänsyn tas till en jords bärighet. Bärighet är den last eller det tryck som marken maximalt kan bära, dvs. markens förmåga att bära utan att omformas från elastiskt till plastiskt (formbart) tillstånd. Har jorden inte tillräckligt stor förmåga att bära brister den, plasticeringen kan uppträda inom en zon eller i ett enstaka brottplan och kan medföra stora skador i jorden. Jordens bärighet beror främst på jordens hållfasthet, ändras hållfastheten ändras förmågan att bära. I de fall jorden kollapsar har hela hållfastheten tagits i anspråk överallt i brottzonen eller brottplanet. Det är då relativt enkelt att beräkna bärigheten, hur stora skjuvspänningar som kan tas upp för att sedan ställa upp en jämviktsekvation för yttre och inre krafter.

I vissa fall kan plasticeringen ske så att deformationer bildas lokalt i jordmassan och ett stabilt tillstånd erhålls ändå. Dessa fall är svårare att bedöma och behandla, då processen kan utvecklas med tiden och senare leda till stora brott. (Pusch 1982)

Beräkningar skiljs åt ur bärighetssynpunkt, beroende på vad som byggs och hur det byggs. Byggnader och anläggningar som inte byggs på berg eller pålar grundläggs på plattor eller plintar. Under väggar är plattorna *långsträckta* medan de under pelare, trapphus, brofundament osv. är *kvadratiska*. Man skiljer även *mellan yttligt grundlagda plattor* och *djupa fundament* (pålar och plintar). I formlerna för bärighetsberäkningar tas hänsyn till

grundläggningsdjup, fundamentform och medeltryckpåkänning, men man ser även till högsta grundvattenytans djup under grundplattans undersida. Vid grundläggning på morän som inte underlagras av lösare jordarter, kan den tillåtna medeltryckpåkänningen beräknas som friktionsmaterial (grovkornig jord) som grus eller sand på grund av moränens sammansättning och lagringstäthet. (Pusch 1982)

För moränlera bestäms den enligt beräkningar för mellanjord (övergångszon mellan kohesion- och friktionsjord) eller kohesionsjord (mycket finkornig jord). Då lasten ligger nära brottstadiet uppstår i regel stora deformationer i jorden, stora förskjutningar äger rum och rörelserna sker på olika sätt och i olika riktningar. Om en jord i alla punkter nått brottstadiet sker de största vertikala, spänningarna i zon A medan de största horisontella spänningarna sker i zon C. Se figur 4.1. (Pusch 1982)



Figur 4.1 Brottzoner (efter Pusch 1982).

I en friktionsjord går brottet mycket djupare än i en kohesionsjord trots att de har samma belastningsyta. Beräkningarna skiljer även beroende av jordart. (Pusch 1982) I sten-, grus- och sandjordar påverkas bärligheten av trycket mellan kornen samt kornens form och fördelning. Osorterad jord har större bärlighet. Sten- och grusjordar påverkas inte märkbart av vatteninnehållet medan sand får bättre bärlighet då den är fuktig. En vattenmättad sandjord som belastas kan dock få mycket dålig bärlighet. (Angelstam mfl 1997)

Ler- och siltjordars hållfasthet beror mycket av vattenmängden. Vattenmättade ler- och siltjordar har dålig bärlighet och kan i vissa fall bli helt flytande medan de har relativt bra bärlighet då de är torra eller något fuktiga. (Angelstam mfl 1997)

4.3.2 Släntstabilitet- skjuvhållfasthet

Uppkomsten av brott i en jord orsakas vanligen av brist på stabilitet i slänter. Problemen uppstår både i naturliga slänter som dalsidor och nipor men även i grävda slänter som vägskarningar och kanaler. Även fyllnadsmassor och upplag utgör släntstabilitetsproblem. Skred har uppstått på många platser runt om i världen och har format landskapet. I Sverige har skred främst inträffat i Götaälvdalen. Störst skada uppstår då ett brott inträffar i kvicklera eftersom det medför att jorden förvandlas till en flytande massa. (Pusch 1982)

En jords hållfasthet delas in i odränerad och dränerad skjuvhållfasthet. Med skjuvhållfasthet menas ett materials största möjliga motstånd mot bristning eller det största motstånd som kan skapas i den blivande brottytan. Denna mäts i enheten kPa (kilopascal). Även jord delas in, *kohesionsjord* (mycket finkornig jord) där skjuvhållfastheten beror av sammanhållande krafter, *friktionsjord* (grovkornig jord) där hållfastheten påverkas av spänningar och uttrycks med friktionsvinkel och *mellanjord* (övergångszon mellan kohesion- och friktionsjord) där hållfastheten består av både kohesion och friktion. För kornsstorleksindelning se tabell 4.1.

Skjuvhållfastheten beror av konsolideringsgrad dvs. stabiliserad jord som är packad till en viss grad och klarar därmed viss belastning. Ändras belastningen i en finkornig jord sker en portrycksförändring som sedan långsamt utjämnas med tiden. Den odränerade skjuvhållfastheten beror då av spänningar som uppstår av belastningen samt de portryck som utvecklas under odränerade förhållanden. I förstärkt normalkonsoliderad, finkornig jord leder belastning till ökad spänning, ökat portryck och brott sker då i odränerade förhållanden eftersom dränering ger portrycksutjämning och ökad hållfasthet. I överkonsoliderad (tål större

belastning än den kommer att utsättas för i framtiden) finkornig jord kan porundertryck uppkomma och den dränerande hållfastheten blir då lägre än den odränerade hållfastheten. Denna beräkning används i långtidsfall eller permanenta åtgärder. Skjuvhållfastheten i finkornig jord är alltså beroende av överkonsolideringsgrad och vilket tidsperspektiv beräkningen avser. Friktionsjord som har hög permeabilitet medför att endast den dränerade hållfastheten beaktas. I mellanjord beaktas både den dränerande och den odränerade hållfastheten i olika beräkningar. En jord innehåller ofta olika lager av kohesionsjord, mellanjord och friktionsjord och därför används ofta en kombinerad analys med dränerad hållfasthet i friktionsmaterialen, odränerad hållfasthet i den finkorniga jorden och delvis dränerad hållfasthet i mellanjordlager. I en normal eller svagt överkonsoliderad lera är dock den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande då den är lägre än den dränerande. För att relevanta hållfastegenskaper ska väljas måste hänsyn tas till belastningens varaktighet, jordens permeabilitet, dräneringsvägar och tillgång till fritt vatten. (Skredkommissionen 1995)

Vid projektering och bedömning av en slänts stabilitet, inför byggnation kan man använda olika beräkningsprinciper och antaganden. Man utgår från antagandet att glidning kan ske utmed en viss (farligaste) glidyta då skjuvhållfastheten är uppbådad i varje punkt. (Pusch 1982) Vid brott i jord blir skadorna större och mer ihållande eftersom jorden inte kan fjädra tillbaka (Angelstam mfl 1997).

Tryckkrafter mellan kornen skapar hållfastheten i jorden, ju större normaltrycket är mellan kornen desto större hållfasthet. Trycket och därmed hållfastheten ökar med djupet, men även grundvattnet i jorden påverkar hållfastheten. Under grundvattennivån reduceras jordens hållfasthet av vattentrycket. Ovan grundvattnet, i vissa zoner ökar hållfastheten då kapillärt uppsuget vatten finns i porerna och skapar ett undertryck. Detta sker genom att kapillärtrycket drar ihop kornen som får ett ökat kontakttryck. (Angelstam mfl 1997)

Säkerhetsfaktorn (F), dvs. risken för att ett slänskred skall uppstå, beräknas i princip genom uppställning av jämviktsekvationer vid antagen glidning utmed en glidyta (Pusch 1982). När säkerhetsfaktorn ska bedömas tas hänsyn till risken för personskada eller materiella förluster. Man skiljer mellan följande;

- bebyggelseområden som till exempel, allmänna byggnader, bostäder, industrier, affärer, kontor, skolor, torg, vägar med mera
- nyexploatering, alla byggnader och anläggningar som ska byggas samt framtida förändringar eller ombyggnader
- befintliga bebyggelseområden samt tidigare exploaterade områden
- annan mark eller markanvändning som endast medför dagsvistelse eller anläggningar av mindre betydelse exempelvis parker, bollplaner, gång- och cykelvägar, garage med mera
- naturmark eller den mark som enbart utnyttjas av enstaka personer. (Skredkommissionen 1995)

Den beräknade glidyten kan vara cirkulär cylindrisk, plan, eller sammansatt av plana glidytor, men även plana och svängda glidytor förekommer. Beräkningarna skiljer beroende av glidyten form. Vid beräkningar bedöms stabiliteten utifrån långtidsstabilitet eller korttidsstabilitet. Långtidsstabilitet används alltid vid mellan- och friktionsjordar och korttidsstabilitet används vid kohesionsjordar. Vid plana glidytor i kohesionsjord och vid beräkning av korttidsstabilitet används odränerade skjuvhållfasthet för beräkning av säkerheten (F) mot skred. Vid mellanjordarter och friktionsjord samt vid långtidsstabilitet i kohesionsjord beräknas säkerheten (F) med dränerande skjuvhållfasthet. För ren friktionsjord som lera och

silt gäller dock, att en slänt inte kan ha brantare lutning än materialets inre friktionsvinkel. (Pusch 1982)

Cirkulär cylindriska glidytor utvecklas då stabiliteten inte är tillräcklig i homogent jordmaterial. Beräkningen utförs för ett flertal glidytor för att få fram den som ger den lägsta säkerheten för att skred ska inträffa. I vissa fall måste hänsyn tas till portrycket i jorden. Då lokalt svaga zoner förekommer, till exempel lösa skikt av lera, räknar man med sammansatta glidytor. Vid släntstabilitetsbedömningar är det viktigt att hänsyn tas till sensitiviteten framförallt hos kohesionsjord. Om skred utvecklas i högsensitiv lera eller kvicklera blir massan helt flytande och kan förstöra väldigt mycket genom att blockera floder och dränka bebyggelse. Vid skred i lågsensitiv lera däremot, flyttas vanligen en mer sammanhängande massa och orsakar oftast inte lika stor skada. (Pusch 1982)

4.3.3 Friktionsjordars hållfasthet

Till friktionsjord räknas sand, grus, grova moräner samt sten- och blockjordar. I friktionsjord beror kontakttrycket av tyngden av ovanförliggande jordlager samt eventuell belastning. Hållfastheten påverkas inte bara av trycket mellan kornen utan även av kornens storlek och form. En högre hållfasthet uppnås med stora, kantiga korn, jämfört med små och runda. Andra viktiga faktorer är kornfördelning och lagringstäthet, en osorterad jord med många fraktioner har större hållfasthet då de större kornen bildar ett bärande skelett som stöds av de mindre kornen, men kornen måste ha kontakt med varandra för att skapa en hållfasthet i jorden. (Angelstam mfl 1997)

4.3.4 Kohesionsjordars hållfasthet

Kohesionsjord består av lera, moränlera, gyttja och högförmultnad torv. Kontakttrycket mellan kornen beror av ovanförliggande jord, belastning samt kemiska krafter mellan kornen. Hållfastheten ökar med ökad lerhalt och minskad vattenhalt. Lera krymper mycket vid uttorkning och blir väldigt hård eftersom allt vatten försvinner och vid lång torka bildas normalt sprickor i marken. I lerjord har i regel det övre lagret, även kallat torrskorpa, större hållfasthet då det är torrare än de undre lagren. Torrskorpan kan mjukas upp efter regn, snö och tjällossning. (Angelstam mfl 1997)

4.3.5 Mellanjordars hållfasthet

Till mellanjord räknas finmo, mjäla och silt. Mellanjordar har en kombination av friktionsjordars och kohesionsjordars hållfastegenskaper. I finmo dominerar friktionsjordens hållfastegenskaper och i mjäla dominerar kohesionsjordens egenskaper. I fuktig mellanjord kan även kapillärt tryck öka kontakttrycket. Helt torr mellanjord bildar ett mycket fint damm medan helt vattenmättad mellanjord kan bli flytande vid schaktning. (Angelstam mfl 1997)

4.4 Jordtryck

I en jordmassa är jordtrycket det tryck som råder i sidled eller det tryck jorden utövar mot en stödjande konstruktion, exempelvis i form av en mur. Jordtryck betecknar den totala tryckkraften per längdenhet av den stödjande konstruktionen. Faktorer som påverkar jordtryckets storlek och fördelning är; jordens beskaffenhet, den stödjande väggens form och höjd, men även väggens förmåga till rörelse. Jordtrycket är alltså beroende av stödkonstruktionens rörelse. (Pusch 1982)

Vanliga problem som jordmassors tryck mot stödmurar och husväggar med mera kan behandlas med hjälp av jordtrycksteori. Teorin går ut på att jordtrycket beräknas under

antagande av fullt brott i en glidyta. Förmågan till rörelse hos en stödkonstruktion är ytterst viktig, då stödväggen inte är flyttbar kan inte heller brott genom glidning ske. Problemet ligger i att avgöra om en viss minimirörelse kan ske. Jordtrycket är mycket större om väggen är orubblig än om rörelsen ger skjuvbrott i jorden. Skjuvspänningarna i jorden reducerar jordtrycket. Om väggen är rörlig görs beräkningen av jordtrycket enligt en teori som även kallas *plastisk jämvikt*. I de fall man har en orubblig stödvägg antar man att vilotryck råder, så kallad *elastisk jämvikt*. Befinner sig jorden i elastisk jämvikt kan den komma i plastisk jämvikt genom horisontell utdragning eller hoptryckning. Brott som uppstår då plastiskt tillstånd uppstår kallas aktivt brott och brottet vid horisontell hoptryckning kallas passivt. (Pusch 1982)

Man skiljer även mellan aktivt och passivt tryck, aktivt tryck uppkommer mot en vägg som stöder en jordmassa och passivt tryck uppkommer mot en vägg som skjuts in mot en jordmassa. Om väggfriktion råder minskar jordtrycket. Vid sjunkning av en konstruktion uppstår en viss friktion som gör att jordtrycket istället ökar. Beräkningarna skiljs åt beroende av jordart, glidyta och om passivt tryck (maximalt jordtryck), eller aktivt tryck (minimalt jordtryck) råder. I många fall måste man även se till det vattentryck som kan råda på platsen. Om grundvattenytan finns i glidytan beräknas först egentygden hos den glidande kroppen med hjälp av jordtrycket ovan och under grundvattenytan. Man får då det effektiva jordtrycket som sedan adderas med det vattentryck som verkar mot konstruktionen. För att kunna reda ut om vilotryck eller aktivt tryck råder måste man först beräkna storleken på stödkonstruktionens rörelser. (Pusch 1982)

4.5 Olika jordars problematik

4.5.1 Sättningar

Sättningar hos byggnader och anläggningar, som vägar och annat, kan skapa stora problem. Vägar som förstörs genom sättningar påverkar trafikbarheten och i byggnader kan brott uppstå, även vatten- och avloppsledningar kan få fel lutning. Är sättningen dessutom ojämn kan en byggnad spricka eller börja luta och måste i så fall grundförstärkas eller repareras vilket ofta medför enorma kostnader. Sättningar får inte bli så stora att anslutande ledningar i marken bryts eller får fel lutning så att avrinning inte kan ske. Friliggande byggnadsverk tillåts maximalt sjunka ca 20 cm, men i vissa fall kan 30-50 cm accepteras beroende av byggnadens karaktär och värde. Ledningsproblem måste självklart åtgärdas. (Pusch 1982)

Sättningar innebär att jorden komprimeras och markytan sjunker. Sättningar uppstår i regel genom belastning på markytan och sjunkande grundvattennivå. Belastningen pressar ihop jorden och porvolymen minskar. Vid grundvattensänkning ökar trycket i jorden och en liknande effekt fås. Sänkning orsakas främst av långvariga torrperioder, dränering och pumpning. De jordar som är mest känsliga för grundvattensänkning är ler- och organiska jordar. I friktionsjord och lös sand kan även vibrationer medföra sättningar. (Angelstam mfl 1997) För att undvika sättningar gällande byggnader görs en stel konstruktion som kan utjämna ojämnheter i sättningar eller uppförs byggnaden på pålar eller plintar som förs ned till fasta jordlager eller berg. Man kan även schakta bort kompressabla jordlager eller förstärka jorden genom till exempel packning eller förbelastning. (Pusch 1982)

Man skiljer mellan två typer av sättningar, den som *förändrar formen, utan volymförändring* och den som orsakas av *volymminskning, kompression*. Den förstnämnda formen av sättning kan i grova drag sägas vara relativt obetydlig vid normal säkerhet mot brott, den uppkommer när jorden belastas eller tiden närmast efter. Sättningar orsakad av volymminskning är

tidsberoende i t ex lera som är lågpermeabel. I permeabla jordar som sand och grus är förloppet snabbt. Vid sättningsberäkningar måste jordmaterialets spännings- och deformationsegenskaper vara kända. Beräkningar görs med hjälp av en elasticitetsteori, vilket förutsätter att man kan fastställa en E-modul för jorden. Med E-modul menas hur mycket ett material kan töjas. Det finns en rad olika beräkningar gällande laster per ytenhet beroende på jordmaterial och lastens utformning samt materialets egenskaper. (Pusch 1982)

Vid nivåskillnader och branta slänter kan man använda sig av en stödmur, dels för att minska brantheten men även för att hålla tillbaka massor och därmed minska risken för att ras och skred skall inträffa.

4.5.2 Ras och skred

Jordarters egenskaper och sammansättning, grundvattenförhållanden, samt höjdskillnader inverkar på slänters stabilitet. I jordar med grövre kornfraktion ökar risken för ras med ökad släntlutning medan släntens höjd inte påverkar. I finkorniga jordar med lera och silt ökar risken för skred med ökad lutning och släntens höjd. Ras och skred uppstår genom att massor av jord eller berg börjar röra på sig. Det medför ofta stora skador på mark och byggnader, dels där raset eller skredet inträffar men även där massorna hamnar. (Rankka 2003)

Ras uppstår då block, sten, grus och sand kommer i rörelse. Jordras uppstår främst i friktionsjord, såsom sand och grus. Det är friktionen mellan kornen som skapar hållfastheten i jorden. Ökar lutningen i en slänt av friktionsjord och övergår friktionsvinkeln kommer partiklarna att börja röra på sig och ras uppstår. Nipor är exempel på jordras utmed vattendrag i mellersta och norra Sverige. Bergras inträffar i berg med många sprickor eller då detta vittrat. Det är genom klimatet som berget försvagas tex genom frostsprängning, vittring samt genom urspolning av material längs sprickor. (Rankka 2003)

Skred innebär att kohesionsjord, dvs finkorning jord, glider iväg i ett sammanhängande stycke. En kohesionsjord hålls samman dels av friktion mellan kornen men även av kohesion. Kohesion, innebär att jordpartiklarna häftar samman med hjälp av molekyllära attraktionskrafter. Störning av jämvikten längs en glidyta kan uppstå genom ökad belastning, minskad motvikt och försämrade hållfasthet hos jorden. Med ökad belastning avses exempelvis bebyggelse ovanför släntkrönet i en slänt, vilket gör att de drivande krafterna blir större. Minskad motvikt i släntens nedre del kan orsakas av erosion eller avschaktning och kan leda till att massor börjar förflyttas. Utmed en strandkant fungerar vattnet som en motvikt, sänks nivån på vattnet minskar även motvikten. En jordarts hållfasthet i en slänt kan försämrats genom t ex höjd grundvattennivå då ett ökat portryck erhålls. Højning kan orsakas av kraftig nederbörd, kalhyggen, omlagda eller igensatta diken. (Rankka 2003)

Det är inte bara den plats där ras eller skred inträffar som påverkas utan även omgivningen. Stabiliteten inom ett område beror av samverkan mellan olika partier samt att förhållandena och stabiliteten förblir oförändrade. Inträffar exempelvis ett skred inom ett område ändras balansen och stabiliteten för omgivningen. Risken för att följdskred ska inträffa beror av jordens egenskaper och var i området det inträffar. (Skredkommissionen 1995)

4.5.2.1 Orsaker till ras och skred

Skred och ras kan inträffa av många anledningar, dels naturliga orsaker eller mänsklig påverkan, ofta är det en kombination av flera faktorer som påverkar. Känsliga områden är slänter med låg hållfasthet och bergsslänter med svagheter i berggrunden. I slänter anpassar den naturliga erosionsprocessen branter och slänter till ett jämviktsläge. Skred och ras utlöses

då denna jämvikt förändras. Förändringarna i marken kan orsakas genom människans åtgärder, genom erosion, klimat, ändrad grundvattennivå eller porttryck, genom uttorkning, tjäle eller urlakning. (Rankka 2003)

Landhöjningen är en viktig faktor som påverkar stabiliteten i slänter på många ställen i Sverige. Under istiden tryckte isen ner jordskorpan och när isen sedan smälte började den så kallade landhöjningen, som pågår än idag. För vissa områden har detta medfört att det som tidigare var havsbotten har lyfts och finns nu ovan havsnivå. Landhöjningen varierar i Sverige beroende på isens tjocklek och tyngd, störst är den i de mellersta och norra delarna av landet. I Skåne sker en landsänkning, vilket medför ökad erosion och landförstörelse. Landhöjningen medför att älvar, åar och bäckar eroderas djupare ner i jorden. Släntstabiliteten har på så vis försämrats genom förändrad jämvikt, ökad ytvattenerosion och ökad grundvattenströmning. Den försämrade släntstabiliteten motverkas dock av lägre porttryck eller sänkt grundvattennivå och förbättrad hållfasthet i jorden. De känsligaste platserna utgörs idag av åars och älvars nedre lopp. (Rankka 2003)

Snösmältning, tjällossning och kraftiga regn kan medföra risk för skred och ras. Under våren och hösten dunstar relativt lite vatten, det stannar kvar i marken och vid ökat vattentryck minskar stabiliteten. (Rankka 2003)

Genom byggnation, både av större hus och lokaler samt dammar och vägar påverkar vi marken. Den naturliga jämvikten störs och släntstabiliteten påverkas. Vid stora kalhyggen kan till exempel inte längre trädens rötter suga upp allt vatten och man får en ökad ytvattenerosion, detta medför i sin tur ökad erosion i slänter och sluttningar. (Rankka 2003)

4.5.3 Erosion

Erosion innebär borttransport av jordmaterial från marken. Transporten kan ske med hjälp av vatten eller med vind. Erosion kan medföra stora skador och ske inom såväl korta som långa tidsperioder. (Wiklander 1976) Det är vanligen partiklar mindre än 0,1 millimeter som rör på sig och detta medför att jordens närings- och vattenhållande egenskaper försämras. Erosionsrisken är större i en jord som inte är aggregerad. Erosion sker i två steg, först *lossnar* partiklar, främst av regndroppar, genom frysning och tining eller av rinnande vatten. Sedan *transporteras* de lösa partiklar av vind eller vatten. Mängden jord som förflyttas beror främst av faktorer som *nederbörd*, där mängd, intensitet och ytavrinning spelar stor roll, *jorderoderbarhet* där jordart, stabilitet och mullhalt påverkar samt *vegetation*, där täckningsgrad och typ av vegetation inverkar. Faktorer som vi människor kan påverka är slänters lutning, längd och ytavrinning. Med en mur som fyllnadsstöd kan brantheten reduceras och på så sätt minska erosionbenägenheten. Klimatet kan vi inte direkt påverka men mikroklimatet kan förbättras genom vindskydd, avdunstningsskydd, bevattning med mera. (Gustavsson 2004)

Vattenerosion kan uppkomma efter kraftigt regn eller stark snösmältning när finjord, humus och näringsämnen transporteras till diken, vattendrag, sjöar eller lägre belägna terränger. Inom vattenerosion skiljer man mellan yterosion, rännerosion och ravinerosion.

Yterosion innebär att mindre partiklar i form av ler, silt och finsand samt humus och näringsämnen avlägsnas från ytan. Detta är en långsam process som leder till markförsämring. Mer synliga problem kan skådas vid vårfloden och efter kraftiga regn.

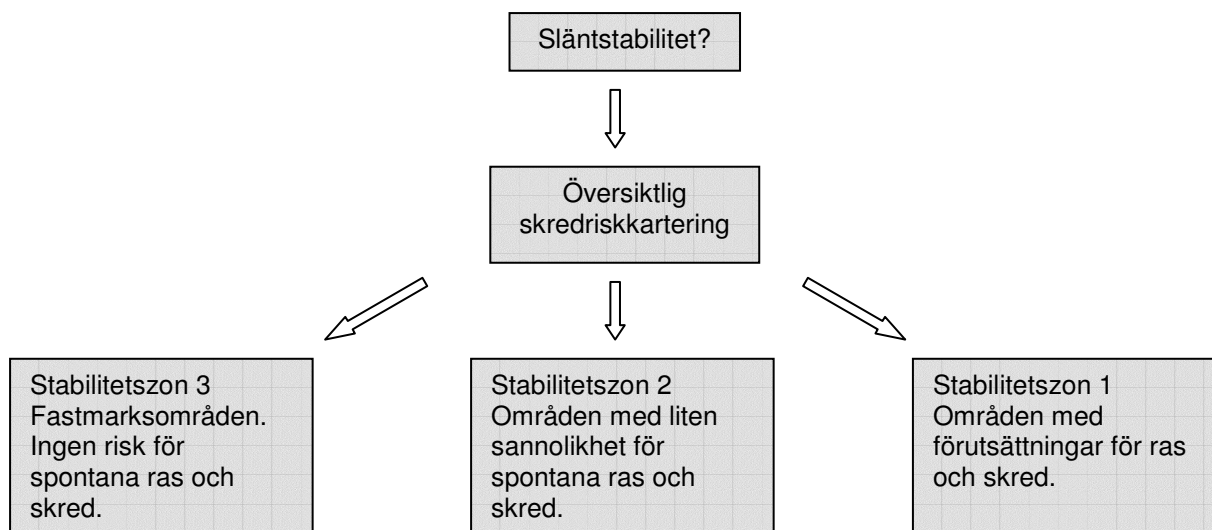
Rännererosion är en mer synlig process då smala, rännor eller fåror kan skådas i markens ythorisont där vatten runnit fram. Rännererosion förekommer främst på plöjd mark under hösten, genom smältvattnet men även på grusvägar som har en viss lutning.

Ravinerosion kan förekomma i jordar med svag aggregatbildning, där jorddjupet är stort och där det kan bildas erosionskanaler på grund av vatten som rinner fram. Erosionskanaler bildas på sluttande mark under årstider då växttäcket är svagt. Rännorna grenar ut sig i sluttningar med avtagande djup och bredd. Mellan rännorna är marken oftast opåverkad. Stora skador på odlingsmarker kan uppkomma då det bildas raviner. (Wiklander1976)

4.6 Geotekniska undersökningar

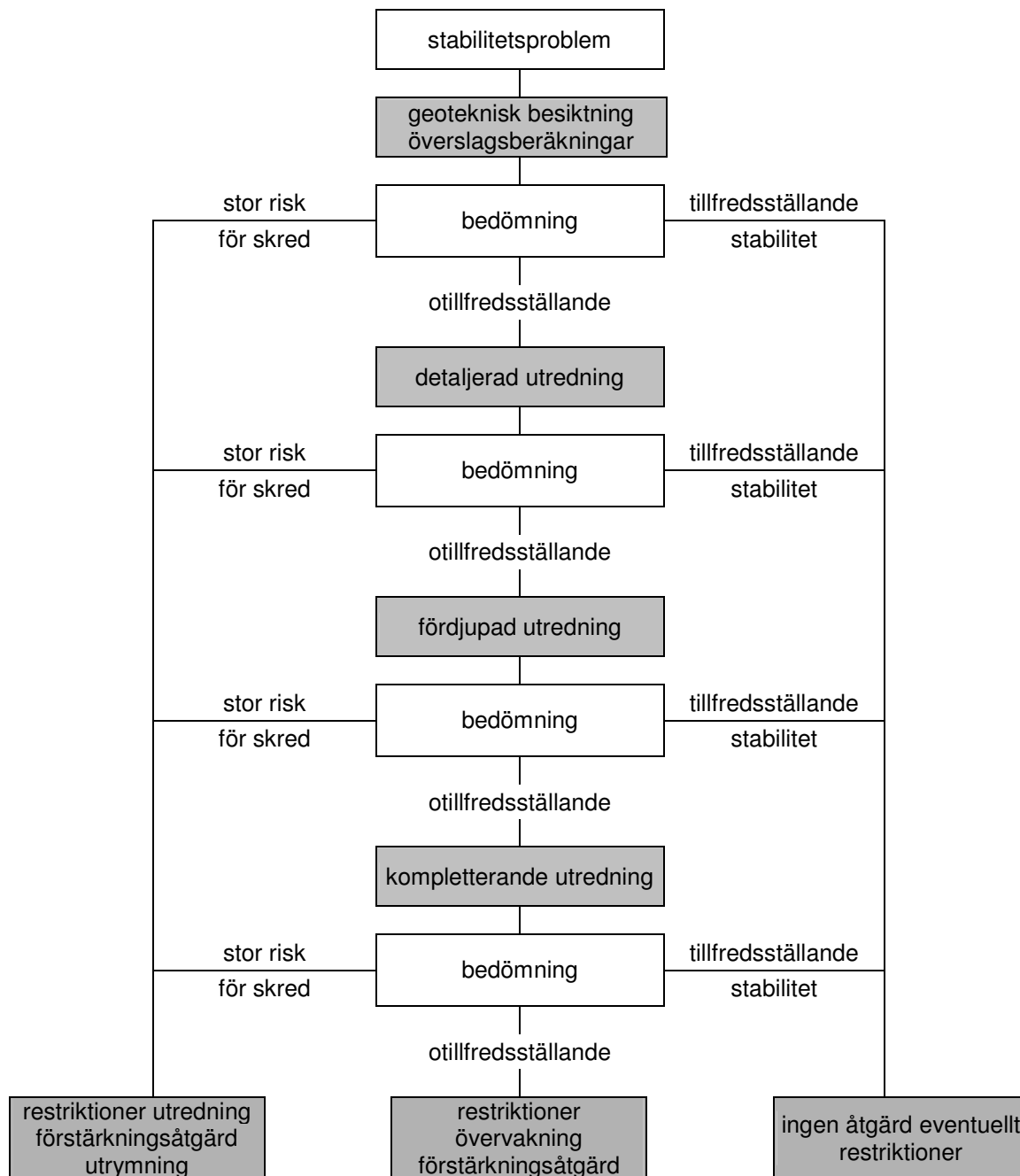
Avsikten med geotekniska undersökningar är att utreda jord-, berg- och grundvattenförhållandena på platser där det finns risk för skred för att sedan kunna göra bedömningar och analyser av stabiliteten. Detta görs för att avgöra om man kan bygga på den aktuella platsen men även hur det ska konstrueras för att skapa en hållbar lösning. Vid en undersökning behövs information om markytans geometri, platsens skredhistoria, jordarter, jordlagerföljder samt jordens egenskaper i de olika lagren, som exempelvis sammansättning, hållfasthet, densitet, lagringstäthet med mera. Det krävs även information om portrycksfördelning i olika delar av slänten samt portryckens och grundvattenytans naturliga variationer med årstiderna, då jorden och dess egenskaper ligger till grund för utformning av konstruktion. (Skredkommissionen 1995)

De geotekniska undersökningarna börjar i regel med besiktning på plats samt studier av kartor, flygbilder och om det finns tidigare utredningar av området. I kommuner finns ofta översiktliga stabilitetskarteringar (även kallad ras- och skredriskkartering) att studera, se figur 4.2. Avsikten med karteringen är att visa de områden där det finns risk för ras och skred. Karteringen har gjorts med hjälp av flygbildstolkning, fältkontroll och i vissa fall enkla sonderingar. Sonderingsförsök görs för att beskriva skjuvhållfastheten. Markens egenskaper fastställs genom att bestämma den kraft som åtgår innan brott uppstår i jorden. Det finns olika metoder beroende av jord och typ av undersökning. Detta är dokumenterat i så kallade skredriskkartor. Karteringen fungerar som ett komplement till de nya utredningarna. Klassas inte slänten som stabil efter de första undersökningarna görs inmätningar, lodningar, fältundersökningar, provtagningar och laboratorieundersökningar. Undersökningarna ska belysa de topografiska, geologiska och geotekniska förhållandena så att dessa tillsammans med övrig information kan ge underlag för stabilitetsbedömningen. Då fältundersökningar görs är det viktigt att de görs så att hela den berörda jordvolymen omfattas. Viktigt är att undersökningen görs till tillräckligt djup. Jordartens sammansättning påverkar undersökningsmetoden. (Skredkommissionen 1995)



Figur 4.2 Skredriskartering (Skredkommissionen 1995).

Stabilitetsutredningar ska ge en uppfattning om området, hur stor risken är att skred eller ras inträffar. Man ska kunna få reda på om en slänt är tillräckligt stabil för att klara framtida markanvändning. Arbetsgången vid en analys av en slänts stabilitet varierar från fall till fall, se figur 4.3. Man börjar med en undersökning av rimlig omfattning för att sedan successivt öka studierna tills man kommit fram till en för slänten lämplig lösning. Antingen bedöms slänten beräkningsmässigt stabil med eventuell förstärkning eller att man bör undvika byggnation i området. Under undersökningens gång måste man hela tiden granska, analysera och utnyttja den fakta eller information som finns och jobba utifrån det. (Skredkommissionen 1995)



Figur 4.3 Generell arbetsgång vid släntstabilitetsutredningar (Skredkommissionen 1995)

Här används uttrycken stabilt, otillfredsställande och stor risk för skred. Med *stabilt* menas att enligt beräkningar eller geotekniska undersökningar uppnår slänten tillräcklig säkerhet och inga stabilitetsproblem föreligger. I tidiga skeden av en utredning krävs väldigt klara fall för att en slänt ska få bedömningen stabil. *Stor risk för skred* innebär att man vid bedömning på plats eller genom beräkningar har kommit fram till att stabiliteten är dålig och skred kan förekomma. Med *otillfredsställande* menas andra situationer då säkerhetsfaktorn inte är tillräcklig eller då man måste göra ytterligare undersökningar för att ta ställning till säkerheten. (Skredkommissionen 1995)

I regel är en slänt stabil om säkerhetsfaktorn F överstiger 1 och slänten förväntas rasa om F är mindre än 1, men det finns en osäkerhet i alla beräkningar. Tillfredställande stabilitet innebär att brottsannolikheten är tillräckligt liten, desto mer omfattande de geotekniska undersökningarna är desto mindre blir osäkerheten. En lägre säkerhetsfaktor kan således accepteras vid en större utredning utan att risken för ras och skred blir större. (Skredkommissionen 1995)

4.6.1 Geoteknisk besiktning och överslagsberäkningar

Med geoteknisk besiktning avses att samla in information om slänten och på så sätt ge underlag för det fortsatta undersöknings- och utredningsarbetet. Besiktning görs av erfaren geotekniker med god kunskap om släntstabilitetsproblem. Vid besiktning av området tittar man bl a på följande:

- rörelser i området, finns det sprickor i jorden eller i byggnader?
- erosionsförhållanden i vattendrag
- grundvattenförhållanden. Detta görs genom att vattennivåer i brunnar och vattendrag studeras. Även geologi och topografi i omgivningen studeras för att bestämma dessa faktorer eventuella påverkan på grundvattenförhållandena.
- yttre laster i form av trafiklaster, vibrationer med mera
- förekomst av vattenledningar, dagvattentrummor med mera
- vegetationens sammansättning och vitalitet
- om det finns spår av tidigare bebyggelse eller om befintlig bebyggelse är hotad
- om marken är påverkad av människans åtgärder i form av fyllningsupplagor, soptippar eller andra åtgärder som orsakar belastning
- tidigare åtgärder för att säkra stabiliteten genom exempelvis erosionsskydd, avschaktningar med mera (Skredkommissionen 1995)

Besiktningen innebär även studier av skredriskkartor, topografiska kartor, jordartskartor, flygbilder samt brunnsarkiv. Har tidigare undersökningar gjorts studeras även dem. Uppgifter om vattenståndsnivåer och vattenföring är en viktig del, denna information kan hittas hos SMHI, Vägverket, kraftverksföretag samt kommuner. De nuvarande förhållandena bedöms, men även framtida förändringar samt en acceptabel risknivå för vattenståndet.

Exempel på bedömningar som görs i utredningen gällande laster:

- förändringar i belastningen som orsakats av byggnation, pågående erosion, avverkning av träd med mera
- variationer i belastningen genom exempelvis kraftig nederbörd, snölaster och tillfälliga upplag av till exempel timmer
- trafiklaster från bilar, tåg, bussar med mera
- alla planerade belastningar och ingrepp i slänten ska undersökas och stabiliteten för varje lastfall skall beräknas
- speciella risker undersöks, exempelvis kan läckage eller brott av vattenledningar orsaka höjda vattentryck som i sin tur kan försämra stabiliteten. Trummor och kulvertar kan även sättas igen, vilket kan orsaka ökade laster och porttrycksförhöjningar. Erosion kan underminera och utlösa skred (Skredkommissionen 1995)

Överslagsberäkningar görs sedan som underlag för vidare undersökningar. Sektioner från området ritas med hjälp av kartmaterial, tidigare undersökningar och vetskap om geologiska och geotekniska förhållanden. En överslagsmässig säkerhetsfaktor beräknas utifrån bedömningar av jorddjup, densitet och hållfasthet. (Skredkommissionen 1995)

Resultaten redovisas sedan på olika sätt beroende på hur stabil slänten bedöms vara. Bedöms slänten stabil redovisas den typsektion som enligt beräkningar har den lägsta säkerhetsfaktorn med den farligaste glidyten. Har slänten en otillfredsställande stabilitet eller om stor risk för skred råder redovisas samtliga överslagsberäkningar och utgör material för fortsatta utredning. Råder stor risk för ras måste även olika myndigheter underrättas. (Skredkommissionen 1995)

4.6.2 Detaljerad utredning

Detaljerad utredning innebär en bedömning om ett verkligt stabilitetsproblem föreligger. Ett antal sektioner som anses vara de mest kritiska väljs för fortsatta studier. Vid val av sektioner tas ställning till markytans lutning, nivåskillnader samt tjocklek på lösa jordlager och den fasta bottenens lutning. Hjälpmedel används i form av kartor och flygbilder. Undersökningarna av sektionerna ska resultera i:

- markytans geometri och bottennivån i vattendrag
- jordlagerföljd och djup till fastare bottenlager
- jordens hållfastegenskaper
- grundvatten- och portrycksnivåer
- förekomst av skikt och kvicklera (Skredkommissionen 1995)

I de utvalda sektionerna görs:

- avvägning och inmätning för att bestämma markytans geometri och vattendragets bottennivå
- lodning för att bestämma vattendragets bottengeometri. Lägsta vattenståndet bestäms utifrån information av olika myndigheter och företag
- sondering för bestämning av jordlagerföljd och jordlagrens storlek. Detta utförs i regel till fast botten. Vanligen görs 2-3 punkter per sektion, där en punkt läggs vid släntens fot och en vid släntens krön. Sondering med portrycksmätning bör göras för att kunna upptäcka genomsläppliga skikt av sand eller silt med höga grundvattentryck. Man får även en grov beräkning av jordens odränerade skjuvhållfasthet
- provtagning för bestämning av jordens sammansättning
- vingförsök (typ av sondering) då tidigare sonderingsresultat inte visar på en stabil slänt. På så sätt kan man bestämma jordens odränerade skjuvhållfasthet och sensitivitet
- grundvatten- och portrycksmätning sker vanligen i genomsläppliga bottenlager för att mäta grundvattnets trycknivå. (Skredkommissionen 1995)

Laboratorieundersökningar görs på de tagna jordproverna för att bestämma jordart, vattenkvot och flytgräns. Ger utredningen en stabil slänt redovisas de undersökta sektionerna i plan med lägsta säkerhetsfaktor. Den sektion som visat sig vara farligast redovisas med ritning och vissa beräkningar. Visar utredningen däremot att slänten är otillfredsställande stabil ska redovisningen omfatta undersökningsplan, sektioner med undersökningsresultat, tabeller med resultat från laboratorieundersökningar, beräkningssektioner med valda jordlagerdelningar och valda värden på jordens skjuvhållfasthet, portryck och densitet samt fakta och beräkningsresultat för farligaste glidyta. Anses området utgöra stor risk för ras och skred bör myndigheter underrättas. (Skredkommissionen 1995)

4.6.3 Fördjupad utredning

Om de tidigare utredningarna fortfarande visar på stabilitetsproblem görs fördjupade utredningar för att ge:

- underlag för mer detaljerad beräkning av stabiliteten
- utreda riskområdets storlek
- material för följdanalys där bedömning av ett skreds förlopp och spridning

- grund för dimensionering av eventuella förstärkningsåtgärder (Skredkommissionen 1995)

De fördjupade undersökningarna är mer ingående och med hjälp av resultaten från tidigare utredningar väljs lämpliga undersökningsmetoder. Fler sektioner undersöks samtidigt som sektioner förlängs och vattendrag med lägsta säkerhet undersöks.

De fördjupade undersökningarna i sektionerna ska verifiera följande:

- markytans geometri och bottennivå i vattendrag
- djup till fastare bottenlager
- jordens hållfastegenskaper
- förekomst och utbredning av eventuell kvicklera eller organisk jord samt dess egenskaper
- förekomst av skikt, deras egenskaper och utbredning
- portrycksfördelning i alla delar av slänten samt variationen med årstiderna
- jordens struktur i form av sprickor och innehåll av organiskt material som kan påverka hållfastheten (Skredkommissionen 1995)

I sektionerna görs följande undersökningar:

- avvägning och inmätning för bestämning av markytans och vattendrags bottennivåer
- bestämning av vattendrags bottengeometri där dess krökar och förändringar studeras
- bestämning av lösa jordlagars egenskaper och förekomst av lösa och fastare skikt
- provtagning för utredning av hållfastheten. Prover skall tas genom hela jordvolymen
- undersökning för att få en säkrare bestämning av skjuvhållfastheten i kohesionsjord, denna skall göras i alla lager
- mätning för att utreda portrycksfördelningen i jorden
- undersökning om markrörelser förekommer samt lokalisering av skjuvzoner (Skredkommissionen 1995)

Jordprover undersöks för bestämning av jordart, vattenkvot, flytgräns, skjuvhållfasthet, densitet och sensitivitet.

Undersökningen redovisas med:

- tekniskt faktablad för stabilitetsutredning
- undersökningsplan med undersökta sektioner
- sektioner med undersökningsresultat
- laboratorieresultat
- resultat av skjuvförsök
- resultat av portrycksmätningar
- beräkningar och valda värden på jordens skjuvhållfasthet, portryck, densitet samt yttre laster och vattenstånd. Även beräknade farligaste glidytor. (Skredkommissionen 1995)

Om de fördjupade undersökningarna fortfarande inte visar en stabil slänt krävs kompletterande utredningar. Man bör då även studera förstärkningsåtgärder. Ytterliggare kontroll av vatten-, el- och teleledningar, synliga sprickor, småskred, erosion samtidigt som förändringar i porvattentryck bör undersökas. Förekommer stor risk för skred ska myndigheter informeras för att förhindra olyckor. (Skredkommissionen 1995)

4.6.4 Kompletterande utredning

Kompletterande utredningar görs då området fortfarande bedöms som instabilt och då förstärkningsåtgärder är aktuella. De kompletterande undersökningarna ska ge:

- en bedömning om vad som påverkar områdets hållfasthet och stabilitet.

- material för dimensionering och kostnadsberäkning av för förstärkningsåtgärder. Även konsekvenserna av dessa på omgivande mark och bebyggelse skall redovisas (Skredkommissionen 1995)

4.6.5 Beräkningar

När alla förutsättningar insamlats genom undersökningar och provtagningar skall stabiliteten beräknas för de olika lastfall som kan uppstå, som *normala och varaktiga belastningsfall*, *mycket kortvariga belastningstillfällen* och *sällsynt belastning* vid olycks- och katastroftillfällen. Varaktighet påverkar skjuvhållfastheten och sannolikheten för att lasten ska inträffa bestämmer säkerhetsfaktorn. Även portryck och yt- och vattennivåer inverkar. (Skredkommissionen 1995)

Jordens egentyngd fås genom sonderings- och dilatometerförsök där jordart och fasthet bedöms. Egentyngden beräknas genom uppmätt densitet i ostörda jordprover. Även ytlaster skall beaktas, såväl permanenta som tillfälliga. Hänsyn till ytvatten skall också tas. Vid den geotekniska undersökningen fastställs vattennivån för att sedan kunna bestämma dimensionerande vattenstånd. Man tittar på såväl nuvarande som framtida förhållanden. (Skredkommissionen 1995)

4.6.5.1 Beräkningsmetoder

Hur djupgående beräkningarna görs varierar från fall till fall, svårighetsgraden ökar när antalet faktorer och noggrannhet ökar. Beräkningarna sker i steg. Det finns ingen metod där man kan få reda på alla faktorer som farligaste glidyta, skjuvhållfasthet och friktionsvinkel. Beräkningarna avbryts om slänten anses stabil genom enklare undersökningar. (Skredkommissionen 1995)

I tidiga stadium, vid den *geotekniska undersökningen* görs överslagsberäkningar för att få fram geometri, jordlagerförhållanden, portryck och hållfastegenskaper där en viss direktmetod används. Är jorden relativt homogen och geometrin ganska enkel kan man med metoden få en uppfattning om var den farligaste glidyten finns och hur stor säkerhetsfaktorn blir. I *senare utredningsskeden*, då slänten ännu inte anses stabil och där geometrin och jorden är mer varierande används vanligen datoriserade beräkningsprogram med automatisk sökrutin för att få fram farligaste glidyta. Det finns en rad olika datoriserade beräkningsprogram men alla har sina begränsningar, då det är svårt att se till varje enskilt fall. När en grov form av glidyta erhållits kan ytterligare beräkningar, med hjälp av datorer eller för hand göras där mer hänsyn kan tas till jordens egenskaper. (Skredkommissionen 1995)

4.7 Mur med jordarmering

I branta slänter och i vägmiljöer kan nivåskillnader tas upp med en stödkonstruktion i form av en kallmur med armerad jord. Denna stödkonstruktion med armerad jord tål relativt stora sättningar utan att den tar skada eller att sättningarna kan uppfattas med blotta ögat. Denna mur har funktionen dels att uppnå ett lämplig fyllnadsstöd samt att uppfylla en estetisk funktion. (Statens geotekniska institut 1993)

Dimensionering

I. betrakta kroppen som en enhet

Ia. kontrollera glidning

Ib. kontrollera stjälpning

Ic. kontrollera grundbrott

Id. kontrollera totalstabilitet

II. betrakta armeringen i kroppen

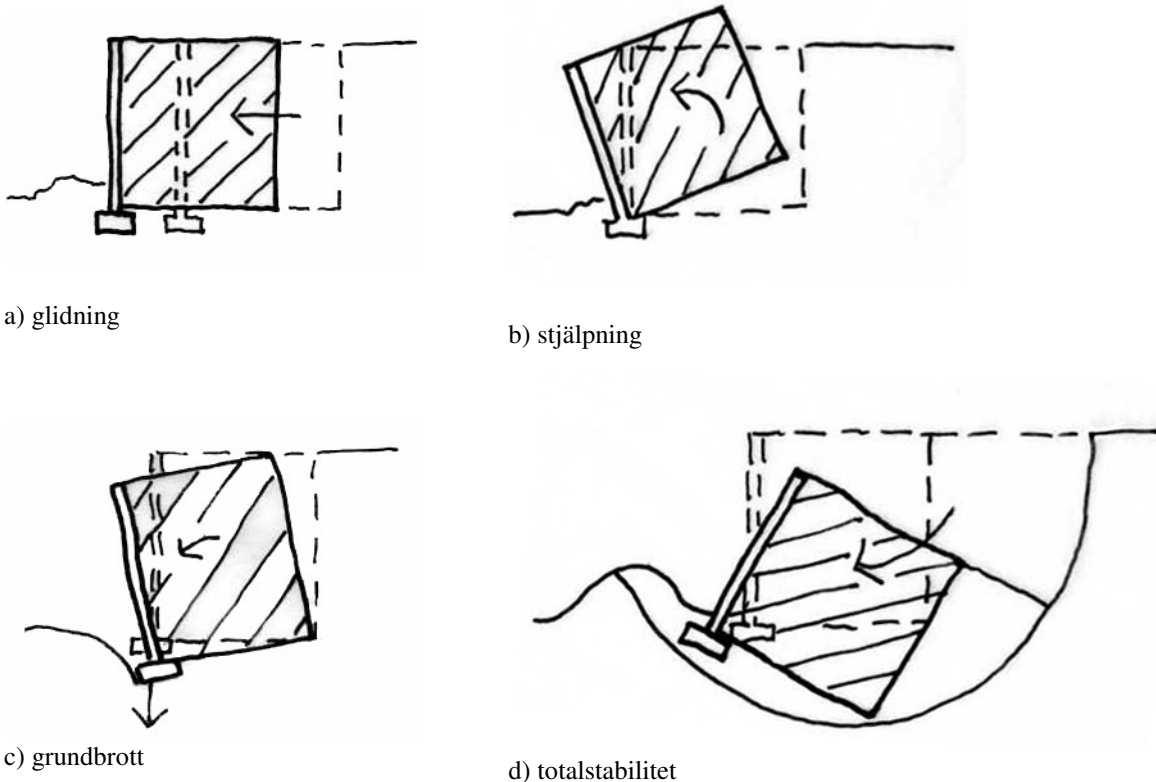
IIa. rotationspunkten i väggens nederkant

IIb. rotationspunkten i väggens överkant

(Carlsson 1987)

Vid dimensionering görs beräkningar i två steg, först görs beräkningar för den armerade kroppen, sedan beräknas armeringsmängd och fördelning.

Vid dimensionering av armerade väggar eller branta slänter betraktas den armerade kroppen som en enhet. Man beräknar det aktiva trycket bakom den armerade zonen samt tyngden av jorden bakom. Då den armerade kroppen betraktas som en klumpmur kontrolleras glidning, stjälpning, grundbrott och totalstabilitet, som i figur 4.4. På så sätt får man reda på minsta längd av armering som konstruktionen kräver. (Statens geotekniska institut 1993)



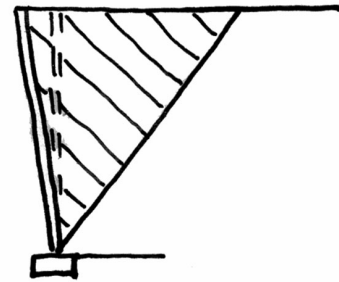
Figur 4.4 Vid dimensionering betraktas den armerade kroppen som en enhet där fyra konsekvenser av brott beaktas (efter Carlsson 1987).

När glidning skall kontrolleras beräknas påskjutande och mothållande kraft för att sedan få fram en säkerhetsfaktor. Säkerhetsfaktorn används sedan vid beräkning av armeringen. Några viktiga parametrar som ingår i formlerna är jordtryck, tyngd av jord bakom armeringen samt last över armeringszonen. Även höjd och längd av konstruktionen ingår. Vid stjälpning beräknas det stjälpande samt det mothållande momentet för att sedan få fram en säkerhetsfaktor. Vid grundbrott beräknas den maximalt tillåtna påkänningen i undergrunden.

Totalstabilitet innebär att olika glidytor undersöks och säkerhetsfaktorn bestäms på traditionellt sätt. (Carlsson 1987)

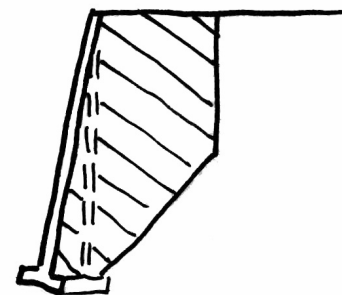
För dimensionering av armering samt dess fördelning måste hänsyn tas till det horisontella jordtryck som verkar mot konstruktionen. Jordtrycket är beroende av hur rörelsen uppträder och bedöms på två olika sätt beroende av armeringen.

Används armering i form av geotextiler och geonät, där armeringen är töjbar i förhållande till jorden, gäller *rotationspunkt i konstruktionens nederkant*. Se figur 4.5. Mot konstruktionen skapas ett aktivt jordtryck, som armeringen ska ta upp föra att sedan överföra till jorden i den mothållande zonen via friktion mellan armering och jord. Jordtrycket beräknas främst med plana glidytor, där brottplanet utgörs av en eller två plana glidytor eller med logaritmisk spiral. Vanligen används självdränerande jord, på så sätt kan man bortse från vatten- och tjältryck. Detta ger med ökat djup, ökat jordtryck vilket leder till att avståndet mellan armeringslagren minskar med djupet. Friktionen mellan armeringen och jorden kan bestämmas genom laborieförsök eller genom beräkningar.



Figur 4.5 Rotationspunkt i väggens nederkant (efter Carlsson 1987).

Rotationspunkt i konstruktionens överkant, figur 4.6, gäller i de fall då armeringen är styv i förhållande till jorden exempelvis då stål används som armering. Det tryck som skapas mot konstruktionen motsvarar vilojordtryck i konstruktionens överkant, för att sedan avta linjärt med djupet till ett aktivt jordtryck. Detta aktiva jordtryck finns från 6.0 meters djup och nedåt. Armeringen skall kunna ta upp jordtrycket och överföra det till jorden i den mothållande zonen, via friktion mellan jorden och armeringen. Den aktiva zonen har en begränsad bredd, 0.3 gånger konstruktionens höjd. Även här används i regel självdränerande jord så att vatten- och tjältryck inte behöver beaktas. Enligt detta betraktelsesätt varierar jordtrycket relativt lite med djupet vilket gör att avståndet mellan armeringslagren kan vara detsamma. Friktionen mellan armeringen och jorden bör bestämmas genom laborieförsök men kan även fås fram genom beräkningar. (Statens geotekniska institut 1993)



Figur 4.6 Rotationspunkt i väggens överkant (efter Carlsson 1987).

4.7.1.1 Armeringsmaterial

Det finns en rad olika armeringsmaterial som kan användas för att armera jord och på så sätt öka stabiliteten. Materialen utgörs av rostfritt stål, kolfiber, glasfiber, polyester, och polypropan, alla med olika egenskaper.

Tre viktiga faktorer som påverkar materialen är:

- förhållandet kraftupptagning/töjning
- förhållandet töjning/tid
- friktion/vidhäftning mellan material och jord.

(Carlsson 1987)

Friktionens storlek beror av armeringens ytstruktur samt omgivande jordmaterials egenskaper. När ett material hålls vid konstant deformation eller när materialet kryper får man en spänningsminskning, även kallad relaxation. Armeringsmaterialet bör därför väljas så att spänningsrelaxationen blir mindre än hållfasthetstillväxten i jorden.

När geotextiler används som armering är det främst materialets töjningsegenskaper som är den begränsande faktorn, genom att töjningen blir för stor. Under en konstruktions livstid får den totala töjningen max uppgå till 5 %. (Carlsson 1987)

Geonät är numera ett vanligt armeringsmaterial och tillverkas ofta av polypropan eller polyester. De kan antingen vara vävda, dragna eller svetsade med olika styrka gällande exempelvis draghållfasthet och töjning. (viacon hemsida 2006) Geonät används för att armera konstruktioner som stödmurar, branta slänter, brolandsfästen men även för att reparera skador efter skred. Geonät kan användas i de fall slänter utsätts för vågor eller tillfälliga, hastiga vattenflöden. Armeras undergrunden kan det totala anläggningsarbetet minskas. Vid armering packas friktionsmaterial över nätet och tränger ner i nätets hålrum och skapar på så sätt en låsning. Användandet av geonät som armering vid friktionsjord eller förstärkningslager medför fördelar som:

- en minskning av friktionsjorden med upp till 40 % utan att medföra försämrat resultat
- reducering av schaktmassan och på så sätt behålls de aggregat som finns i jorden
- en minskad störning eller försvagning av undergrunden
- ökad livslängd
- att lättare ha kontroll över sättningar
- att överbrygga hålrum

Ett geonät håller ihop en konstruktion, där sammansättning av nät och friktionsmaterial fungerar som ett stabiliserande skikt över till exempel sprickbildning. Det tål stora belastningar och har förmågan att jämna ut sättningar. Nätet minimerar även skadorna som uppkommer vid tjällossning. (Tensar hemsida 2006)

För dimensionering av armering samt dess fördelning måste hänsyn tas till det horisontella jordtryck som verkar mot konstruktionen. Jordtrycket är beroende av hur rörelsen uppträder och bedöms på två olika sätt beroende av armeringen. (Statens geotekniska institut 1993)

Används armering i form av geotextiler och geonät, där armeringen är töjbar i förhållande till jorden, gäller *rotationspunkt i konstruktionens nederkant*. Se figur 4.5. Mot konstruktionen skapas ett aktivt jordtryck, som armeringen ska ta upp för att sedan överföra till jorden i den mothållande zonen via friktion mellan armering och jord. Jordtrycket beräknas främst med plana glidytor, där brottplanet utgörs av en eller två plana glidytor eller med logaritmisk spiral. Vanligen används självdränerande jord, på så sätt kan man bortse från vatten- och tjältryck. Detta ger med ökat djup, ökat jordtryck vilket leder till att avståndet mellan armeringslagren minskar med djupet. Friktionen mellan armeringen och jorden kan bestämmas genom laborieförsök eller genom beräkningar.

Rotationspunkt i konstruktionens överkant, figur 4.6, gäller i de fall då armeringen är styv i förhållande till jorden exempelvis då stål används som armering. Det tryck som skapas mot konstruktionen motsvarar vilojordtryck i konstruktionens överkant, för att sedan avta linjärt med djupet till ett aktivt jordtryck. Detta aktiva jordtryck finns från 6.0 meters djup och nedåt. Armeringen skall kunna ta upp jordtrycket och överföra det till jorden i den mothållande zonen, via friktion mellan jorden och armeringen. Den aktiva zonen har en begränsad bredd, 0.3 gånger konstruktionens höjd. Även här används i regel självdränerande jord så att vatten- och tjältryck inte behöver beaktas. Enligt detta betraktelsesätt varierar jordtrycket relativt lite med djupet vilket gör att avståndet mellan armeringslagren kan vara detsamma. Friktionen mellan armeringen och jorden bör bestämmas genom laborieförsök men kan även fås fram genom beräkningar. (Statens geotekniska institut 1993)

5 Ekonomisk analys

5.1 Bakgrund

Den ekonomiska analysen innefattar en jämförelse mellan olika murar; stenfyllda gabioner, platsgjuten betongmur, kallmurad betongstensmur samt kallmurad blockstensmur av granit. Anläggningskostnaderna har räknats ut efter underlag från respektive tillverkare. Målet med kalkylen är att sammanställa en ekonomisk jämförelse mellan nämnda murar, med avseende på anläggningskostnad, livslängd och skötsel.

En definition på livslängd är den tidsperiod under vilken alla krav på konstruktionens lastbärande förmåga är uppfyllda (Fagerlund 1994B). Livslängden bestäms i många fall av ingående materialens beständighet och dess motståndskraft mot miljöns aggressivitet. Det är av stor ekonomisk betydelse att få så lång funktionsduglighet hos konstruktionen som möjligt, därför är det bra att redan i projekteringsstadiet beräkna den förväntade livslängden. De olika konstruktionerna har undersökts för att kunna göra en rimlig bedömning av livslängden och en jämförelse mellan murarna har gjorts baserad på deras livslängd och anläggningskostnad, se kapitel 3.1-3.5.

5.2 Ekonomisk sammanställning

Sammanställningen innehåller en kostnadsjämförelse mellan granitmur, platsgjuten betongmur, blockstensmur av betong samt stödmur av gabioner. Jämförelsen avser material- och monteringskostnad och investeringen dessa kräver i perspektiv med murens livslängd. Eftersom fiberduk och fyllnad bakom muren krävs för samtliga stödmurar har denna kostnad utgått ur jämförelsen. Med undantag för kalkylen gällande granitmurar ingår ej transporten i kostnaden. Samtliga kalkyler nedan är beräknade utefter tillverkarnas egna priser. Kapaciteter gällande underbyggnad och utläggning av makadam, samt betongstensmurens monteringskapacitet är hämnade från ISS Landscaping i Malmö. Kapaciteten gällande montering av gabioner och granitmur kommer från tillverkarna. Till beräkningen av den platsgjutna betongmuren har jag fått hjälp av Lars Arvidsson från Markbyggnadsgruppen i Malmö.

5.2.1 Stenfyllda gabioner, livslängd 30-40 år

De två jämförda gabionmurarna är konstruerade på följande sätt, i enlighet med tillverkarens rekommendationer. Muren från ViaCon byggs i tre lager, i det nedersta lagret placeras 3 rader av gabioner, i nästa lager 2 rader och det översta lagret innehåller en rad med gabioner, likt en pyramid. Alla gabioner är 1 meter höga och 1 meter breda i två- och tremeterslängder. Gabionerna fästs ihop med klamrar.²⁵ Muren från Thulica är uppbyggd med ett nedersta lager av två rader med 1 meter höga och 1 meter breda gabioner. Nästa lager består av en gabion som är 1 meter hög och 1 meter bred, samt en gabion innanför denna med höjden 1 meter och bredden 0,5 meter. Översta lagret innehåller en gabion med höjden 1 meter och bredden 1 meter. Alla gabioner från Thulica är fyra meter långa och fästs ihop med hjälp av klamrar. Gabionerna förankras även i slänten med hjälp av stag.²⁶ Eftersom muren från Thulica görs smalare (två rader gabioner i bredd) än muren från ViaCon (tre rader gabioner i bredd), krävs smalare schakt och underarbetet blir således mindre. Av samma anledning blir även mängden makadam till grundläggningen mindre. Färre gabioner

²⁵ Oskar Lager 2006-04-18

²⁶ Tobias Granström 2006-05-12

skall monteras i muren från Thulica och därmed blir även monteringskostnaden mindre för denna. Fullständig kalkyl finns som bilaga 2.

Kalkylsammanställning mur av gabioner

	ViaCon	Thulica	medel
Underarbete	58	40	49
Utläggning, makadam, dränering	94	60	77
Montering	2100	1575	1838
Material	695	614	655
Kvadratmeterspris	2947	2289	2618

5.2.2 Platsgjuten betongmur, livslängd 40-120 år

Den kalkylerade betongmuren är konstruerad utefter en rimlig normalförutsättning. Muren har en övre bredd på 25 centimeter och en nedre bredd på 40 centimeter. Bottenplattan är 150 centimeter bred och 40 centimeter hög och står på en 30 centimeter tjock grusbädd. Priset på formen är baserat på att denna skall återanvändas till murens alla segment.²⁷

Kalkylsammanställning platsgjuten betongmur

Underarbete	126
Utläggning, makadam, dränering	57
Montering; formning, armering, gjutning	1143
Material	857
Kvadratmeterspris	2183

5.2.3 L-stöd/T-stöd, livslängd 40-50 år

För att bygga höga murar av förtillverkade element, som i prisexemplet, används T-stöd. Stöden levereras i moduler som är två meter långa. Dessa placeras på en trettio centimeter tjock grusbädd. På modulerna finns lyftöglor för att underlätta när stöden skall monteras på plats med hjälp av grävmaskin eller traktorgrävare. Fullständig kalkyl finns som bilaga 4.

²⁷ Lars Arvidsson 2006-05-16

Kalkylsammanställning mur av T-stöd

	Nordform	Starka	S:t Eriks	medel
Underarbete	77	77	74	76
Utläggning, makadam, dränering	67	60	64	64
Montering	44	44	44	44
Material	1483	1317	1500	1433
Kvadratmeterspris	1671	1498	1682	1617

5.2.4 Blockstensmur i betong, livslängd 40-50 år

Eftersom höga murar av betongblock är ovanliga baseras istället kalkylen på en 90 cm hög mur. Trots att det finns beräkningsmodeller för höga murar av betongblock anläggs dessa murar väldigt sällan. Skall högre murar byggas får man räkna med en merkostnad för jordarmering.²⁸ Muren monteras på en trettio centimeter tjock grusbädd. Blocken från Nordform har måtten 175x280x260 millimeter och blocken från Starka har måtten 700x350x150 millimeter. Dessa block lyfts på plats med människokraft medan man för blocken från S:t Eriks måste ta hjälp av en grävmaskin eller traktorgrävare då dessa block har storleken 1200x350x150 millimeter och tyngden 140 kg/styck. Detta ger naturligtvis en något högre kostnad för monteringen, vilket kan utläsas ur kalkylsammanställningen. Fullständig kalkyl finns som bilaga 5.

Kalkylsammanställning mur av betongblock

	Nordform, Block Carat	Starka, Block Siena	S:t Eriks, Block Byggblocket	medel
Underarbete	82	82	70	78
Utläggning, makadam, dränering	85	85	90	87
Montering	350	350	700	467
Material	785	829	1335	983
Kvadratmeterspris	1302	1346	2195	1614

5.2.5 Kallmurad blockstensmur i granit, livslängd minst 100 år

Kostnaden för en kallmur av granit beror mycket på transportens längd. Två exempel har därför beräknats, dels från Bohus till Göteborg eller från Bjärlöv och Vånga till Malmö, vilka båda motsvarar cirka 10 mil, dels från Bohus eller Bjärlöv och Vånga till Stockholm, vilket är en sträcka på runt 50 mil. Se vidare kapitel 5.2. Muren står på en grund av ett trettio centimeter tjockt lager grus.²⁹ Fullständig kalkyl finns som bilaga 6.

²⁸ Jan Ekström 2006-05-04

²⁹ Kjell Jönsson 2006-05-04

Kalkylsammanställning mur av granit

	10-mils frakt	50-mils frakt	
Underarbete	39	39	kr/m2
Utläggning, makadam, dränering	40	40	kr/m2
Montering	553	553	kr/m2
Material	1500	1500	kr/m2
Transport	210	455	kr/m2
Kvadratmeterspris	2342	2587	kr/m2

5.3 Kalkylsammanfattning

Kalkylsammanfattning

	Stenfyllda gabioner	Platsgjuten betongmur	T-stöd	Blockstens- mur i betong	Kallmurad blockstens- mur i granit
Underarbete	49	126	76	78	39
Utläggning, makadam, dränering	77	57	64	87	40
Montering	1838	1143	44	467	553
Material	655	857	1433	983	1500
Kvadratmeterspris	2619	2183	1617	1615	2132
beräknad livslängd, år	~30-40	~40-120	~40-50	~40-50	>100

Sammanfattningen visar att en blockstensmur i betong har väldigt låg anläggningskostnad, men då är kostnaden beräknad på en 90 cm hög mur eftersom höga murar av betongblock är sällsynta. Därmed är denna post inte helt rättvisande. Även T-stödet har visat sig ha låga anläggningskostnader, vilket beror på att monteringskostnaden är låg.

Det är viktigt att poängtera att höjden på muren spelar en stor roll. Att kalkylerna gjorts på en tre meter hög mur grundar sig i att granitmuren används i storskaliga miljöer och jämförda murar har därför kalkylerats därefter.

I jämförelsen ovan ingår inga fraktkostnader. Detta är kostnader som tillkommer och som måste beaktas vid valet av mur. För murar av betong, och då speciellt platsgjuten betongmur, är fraktkostnaden lägre eftersom produktionsplatserna är spridda över Sverige. Transporterna för gabioner och granit kan beräknas vara högre eftersom tillverkningsplatserna är begränsade. För att eftersträva en lönsam investering är också nödvändigt att ta hänsyn till förväntad livslängd redan i projekteringsstadiet.

6 Marknadsföring

Då kallmuren idag inte har någon spridning i Sverige, är det viktigt att genomföra en marknadsföringskampanj för att arkitekter och projektörer skall få upp ögonen för muren. Denna bör göras på ett objektivt sätt där muren jämförs med andra alternativ gällande ekonomi och livslängd. Det måste vara klart och tydligt att kampanjen inte utgår från stenindustrin utan är fristående, men självklart kan stenindustrin använda sig av den, för att visa på murens mångfald.

Vi har gjort ett utkast för hur en sådan marknadsföring kan se ut, se bilaga 9.

7 Enkätundersökning

För att utreda intresset för kallmuren på marknaden har vi gjort en enkel marknadsundersökning i form av en enkät. Syftet med enkäten var att undersöka huruvida det finns utrymme för stödmuren på marknaden.

Enkäten har skickats till projektörer och arkitekter på Sveriges fem största konsultföretag samt geotekniker vid varje region inom Vägverket. Det fanns från början planer på att även skicka enkäten till kommuner spridda i Sverige, men eftersom i stort sett alla kommuner anlitar konsulter vid projektering utgick denna målgrupp. Materialet innehöll en kort beskrivning av muren; dess tillverkning och konstruktion, enkäten som helhet finns som bilaga 7. Enkätsvaren samlades in genom en telefonintervju. Frågorna vi ställde var:

- Känner ni till denna typ av stödmur? Om ja, varifrån?
- Har ni projekterat för en mur av den här typen? Vilka problem stötte ni på, varför?
- I vilka sammanhang kan ni tänka er att använda denna typ av mur?
- Ser ni någon problematik med muren? Fördelar eller nackdelar?
- Är muren ett alternativ som tilltalar er?
- Tror du att det finns utrymme för stödmuren på marknaden?

Det var inte många av de tillfrågade som kände till den här typen av mur. Flertalet har sett liknande konstruktioner av äldre karaktär. Vi frågade i vilka sammanhang de kunde tänka sig att använda muren och fick följande svar:

- i hamnmiljöer
- utefter vägar och vid trafikplatser
- i stadsnära miljöer som bland annat undergångar, korsningar och trapplöp där det är ont om plats och materialet uppfattas av brukaren
- som låga murar med sittfunktion i skolmiljö och i staden
- i mer påkostade miljöer
- i bygder där anknytning till materialet finns
- i storskaliga miljöer, i mindre sammanhang som till exempel bostadsgårdar kan muren kännas klumpig i jämförelse med omgivningen
- järnvägsmiljöer
- brofästen
- ur kulturvårdssynpunkt
- som erosionsmaterial då det är ett starkt material
- i alla sammanhang där man ställer krav på estetik

Samtliga geotekniker hävdar att muren fungerar stabilitetsmässigt, medan vissa projektörer har ifrågasatt konstruktionen. Murens styrka ligger i dess tyngd, och den får därigenom en önskvärd stabilitet. Det efterfrågas någon typ av lathund för projektörer, gällande konstruktion och uppbyggnad av muren.

Kostnaden väger alltid tyngst och eftersom merparten av Sveriges projektörer tror att natursten är ett dyrt material väljer man betong istället. Flertalet tillfrågade har ifrågasatt om speciell kunskap krävs vid montering och i så fall var man får tag i kompetent personal.

Alla tillfrågade är positiva till muren och tycker att det är ett bra alternativ för marknaden, om den kan konkurrera kostnadsmässigt. Samtliga tycker att det är en viktig aspekt att man faktiskt kan ta tillvara på materialet bättre. Fullständiga svar från de tillfrågade finns som bilaga 8.

8 Diskussion

Granit är ett livskraftigt material med långa traditioner. Människan har använt sten som byggmaterial under en mycket lång tid. Det kan ha handlat om att bli av med material från åkrar, för att hägna in djur eller hålla vilda djur borta från ägorna. Granit som material är starkt och hållbart och hämtar sin styrka utifrån sin tyngd, genom denna kan man skapa stabila konstruktioner som håller över generationsskiften.

Stödmurar används för att ta upp nivåskillnader men även för att hålla tillbaka jordmassor och hindra dem från att rasa. Olika jordar har olika stor benägenhet att sättas i rörelse vilket beror av sammansättningen. Detta gör att jord delas in i olika arter. Jord består av *fast material* som mineralpartiklar och organiskt material men även *vätska* och *gas*. Dessa andelar varierar i de olika jordarterna och ger dem dess egenskaper.

Kornens storlek och packningsgrad påverkar jordens förmåga att släppa igenom, suga upp och hålla vatten. Även kornens form och tryckkraften mellan dessa påverkar en jords hållfasthet. Dessa faktorer tillsammans avgör hur mycket en jord kan bära utan att deformeras. Problem som kan uppstå i mindre stabila jordar är sättningar, ras, skred och erosion. Dessa kan medföra enorma kostnader.

Vid all byggnation bör geotekniska undersökningar genomföras för att studera jord-, berg- och grundvattenförhållandena, för att på så sätt minska risken för att skred och liknande skall inträffa. Genom dessa undersökningar erhålls bedömningar och analyser av stabiliteten där syftet är att få reda på om en slänt är tillräckligt stabil för att klara framtida markanvändning. Hur detaljerat de geotekniska undersökningarna genomförs beror av jordens kondition. Man börjar med en undersökning av rimlig omfattning för att sedan successivt öka studierna tills man kommit fram till en för slänten lämplig lösning. Genom beräkningar bedöms slänten antingen stabil, med eventuell förstärkning eller att man bör undvika byggnation i området. Förstärkningsåtgärder kan till exempel utgöras av jordarmering i de fall jorden har en sämre hållbarhet.

Vi har genom vårt arbete kommit fram till att kallmuren inte konstrueras på något extraordinärt sätt utan fungerar som i stort sett vilken kallmur som helst. En kallmur är tålig eftersom den byggs utan bruk och således kan följa årstidernas temperaturväxlingar utan att påverkas destruktivt. Att konstruktionen är enkel gör arbetsmomentet mindre, jämfört med att bygga en mur med bruk. Många yrkesverksamma konsulter och arkitekter tror att naturstensmaterial är oerhört dyrt, vilket i regel påverkar deras val av material. Ekonomin styr alltid när man skall välja byggmaterial och ofta faller valet på betong utan att man ens överväger alternativen. Till den här muren används restmaterial, vilket gör att kostnaden kan hållas på en rimlig nivå.

I vår marknadsundersökning har vi upptäckt att i stort sett ingen känner till den här typen av mur. Därför är det viktigt att presentera den på ett bra sätt inför landskapsarkitekter och geotekniker så att muren får en marknad även i Sverige. Alla de vi talat med genom vårt arbete med enkäten menar att det finns en marknad för muren, då den kan fungera som ett bra komplement till andra murtyper. Tillsammans kom de fram till många olika miljöer där muren skulle kunna fungera, både i staden, utmed vatten och på landsbygden.

Marknadsföringen är viktig, både gällande materialet i allmänhet men främst den här specifika murtypen. Det är viktigt att poängtera att granit är ett material som åldras med skönhet samtidigt som det är ett beständigt material. Det ser man inte minst i naturen.

Designmässigt tror vi att muren fungerar i alla sammanhang, men att det är viktigt att tänka på att använda den i rätt skala. I trånga miljöer kan man använda block av storleken $30 \times 30 \pm 5$ centimeter medan man i större sammanhang kan använda $50 \times 50 \pm 10$ centimeters-block.

Granitmurens svaga punkt vad gäller ekonomin är transportererna. Eftersom brytningen av sten är ytterst förankrad till de platser där fyndigheter finns skjuter transportkostnaderna snabbt i höjden. I det här arbetet har vi riktat in oss på de svenska granitsorterna med god klyvbarhet, dvs. främst Bjärlöv, Bohus och även till viss del Vånga. Stenbrotten är belägna i Skåne och Bohuslän, vilket inte ger bästa möjliga spridning av materialet. Med avseende på transportererna har granitmuren svårt att konkurrera med den platsgjutna betongmuren, eftersom byggmaterialet då i regel inte behöver fraktas speciellt långt utan ofta finns tillhands nära byggarbetsplatsen.

Både betongmurar och murar av gabioner får sin styrka från stenen, men det är inte den starkaste byggstenen som ger konstruktionen sin hållbarhet. I båda konstruktionerna är det andra faktorer än stenmaterialet som bestämmer livslängden. Stenmaterialet fyller här sin funktion genom att ge andra material stadga. Betong består av vatten, cement och ballast, vilken i de allra flesta fall utgörs av stenmaterial. Materialets sönderfall beror på rostande armering eller att cementet bryts ner i kontakten med koldioxid. Det som blir kvar efter vittringsprocessen är stenmaterialet. Det är även detta som ger betongen dess höga tryckhållfasthet och beständighet mot nötning. Gabionerna fylls med stenmaterial och får genom detta sin tyngd och stabilitet. Trådarna som bygger upp gabionerna är belagda med ett lager av zink som skall hindra dem från att rosta sönder, men tyvärr håller inte konstruktionen hur länge som helst. En tråd som är belagd med enbart zink har en livslängd av 30-40 år, andra beläggningar kan hålla längre tid men är också dyrare.

Med sin enkla konstruktion och låga tillverkningskostnad kan granitmuren konkurrera ekonomiskt med andra stödmurar på marknaden. Anläggningskostnaden för en granitmur skiljer sig inte för mycket från konkurrerande murtyper. Om man även väger in granitens långa livslängd i kalkylen är granitmuren oslagbar. En mur av granit kan förväntas hålla i 100 år, om inte längre, förutsatt att den är rätt monterad med ett bra underarbete. Om man jämför denna livslängd med en betongmur, som om man har otur kan börja vittra sönder redan efter 25 år och nå minsta acceptabla hållbarhet efter 40 år, har granitmuren ett stort förskott. Dessutom är det inte själva byggstenarna som stjälper granitkonstruktionen utan grundförhållandena, vilket gör att man kan börja om från början med samma byggmaterial utifall att muren skulle falla. Skulle man av någon anledning vilja riva muren kan granitblocken användas på nytt någon annanstans, vilket knappast är tänkbart med en platsgjuten betongmur.

I dagens samhälle lär vi oss att tänka på miljön. Det är minst lika viktigt att tänka miljöriktigt när man planerar utemiljöer och att ta tillvara på energi. Genom att anlägga kallmurad mur av restblock kan större del av den energi som går åt vid brytningen utnyttjas. Idag ligger enorma massor sten i områden kring stenbrotten. För denna sten finns i dagens läge ingen direkt marknad. Viss reststen används idag vid byggnation vid strandkanten i kustnära miljöer. I framtiden kan denna sten krossas till makadam men i nuläget är detta inte lönsamt. Vi vill bromsa den enorma tillväxten på reststensupplaget och tror att det kan vara möjligt om man lyckas sprida idén med kallmuren. Man kan också tänka sig att en ökad utvinning av sten kan leda till lägre priser på även annat naturstensmaterial. Vidare kan vi spekulera i att detta skulle kunna leda till att man väljer att använda mer svensk granit, än som idag då mycket sten

importeras från bland annat Kina och Portugal. Den svenska graniten har dessutom bättre egenskaper eftersom denna bildats under en längre period.

9 Källförteckning

- Angelstam Per, Gustafsson Bosse mfl. (1997). *Marken i skogslandskapet*. Höganäs: Globograf.
- Burström, Per Gunnar (2001). *Byggnadsmaterial. Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur.
- Byfors Kajsa, Tuutti Kyösti (1994). Armeringskorrosion. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Material, utgåva 2*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. s 785.
- Eriksson Leif, Henriksson Onni (1992). Betongvaror. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Arbetsutförande, utgåva 2, projektering och byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. s 123.
- Fagerlund Göran (1994A). Frostbeständighet. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Material, utgåva 2*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.. ss 727-764.
- Fagerlund Göran (1994B). Betongkonstruktioners beständighet och livslängd. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Material, utgåva 2*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. ss 711-718.
- Fredén Curt (1998). Jordarterna. i Fredén Curt (red). *Berg och jord*. Vällingby: Sveriges Nationalatlas. s 104.
- Hertzell, Tage (2002). *Betongens yta*. Stockholm: Liber Distribution AB.
- Hjort Bengt (1992). Armeringsarbeten. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Arbetsutförande, utgåva 2, projektering och byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. s 201.
- Lundqvist Thomas (1998). Berggrunden. i Fredén Curt (red). *Berg och jord*. Vällingby: Sveriges Nationalatlas. ss 14-15.
- Nilsson Mårten (1992). Formbyggnad för platsgjuten betong. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Arbetsutförande, utgåva 2, projektering och byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. s 147.
- Möller Göran (1992). Härdning av betong. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Arbetsutförande, utgåva 2, projektering och byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. ss 347-390.
- Pusch, Roland (1982). *Geoteknik*. Luleå, kurslitteratur grundkurs i geoteknik.
- Tepfers Rolejs, Törnwall Bo (1994). Armering. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Material, utgåva 2*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. ss 147-166.
- Wiklander, Lambert (1976). *Marklära*. Uppsala: Repro.
- Åström Mikael (1992). Markbetongprodukter. i Ljungkrantz Christer, Möller Göran, Petersons Nils (red). *Betonghandbok Arbetsutförande, utgåva 2, projektering och byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. ss 134-136

Artiklar

Thorvaldsen, Knut A (2003). Tørrmurer. *Park & anlegg*, nr. 9. ss 24-25.

Övrigt tryckt material

A P Sten (u.å) *Produktkatalog Marksten*. Produktinformation.

Carlsson Bo. Terratema AB (1987). *Armerad jord- beräkningsprinciper*. Kursmaterial.

Kjellén, Christer (1991). *Natursten - anläggningar, trädgårdar 4*. Sveriges Stenindustriförbund.

Officine Maccaferri S.p.A (2003). *Road works. Problems and solutions. Gravity earth retaining structures*. Informationsblad.

Skanska Prefab (2001) *Markhandboken Skanska*. Produktinformation.

Skredkommissionen (1995). *Anvisningar för släntstabilitetsutredningar*. Linköping, Roland Offset.

Statens geotekniska institut (1993). *Stödkonstruktioner med armerad jord- Norra länken i Linköping*. Rapport.

S:t Eriks (u.å) *S:t Eriks Produkthandbok*. Produktinformation.

Sveriges Stenindustriförbund. (2002) *Natursten allmänt 1*.

Sveriges Stenindustriförbund (2003). *Stenkartoteket, Svenskt- Norskt Stenkartotek*. Stenkartotek.

Sveriges Stenindustriförbund (2006). *Natursten, Utemiljö*. Arbetsutgåva 060205.

Thulica AB (2006). *Instruktioner för montering av gabioner*. Informationsblad.

ViaCon AB (u.å.) *Gabioner- förzinkade och plastade*. Informationsblad.

Otryckt material

Föreläsningsmaterial, Markbyggandets hårda material och konstruktion. Sten som konstruktionsmaterial, Roland Pusch, 30 augusti 2005.

Föreläsningsmaterial, Markbyggnad. Erosion, Eva- Lou Gustavsson, 2004.

Föreläsningsmaterial, Marklära. Geoteknik, släntstabilitet, Karin Rankka, 2004.

Personliga kontakter

Abrahamsen Leif, 2006-02-22. Byggledare, Oslo Vei.

Arvidsson Lars, 2006-05-16. Markbyggnadsgruppen, Malmö. Tel; 040 18 20 50.

Eriksen Bjørn Egil, 2006-02-22. Sälgschef, JOGRA Stenindustri AS, Borgenhaugen. Tel; +47 69 14 80 84.

Eriksson Jan, 2006-05-04. Geotekniker, Vägverket Väst. Tel; 031-63 50 49.

Granström Tobias, 2006-05-12. Thulica AB, Lindome. Tel; 031-99 41 99.

Hammarstedt Heidi, 2006-03-23. Landskapsarkitekt, Norske Vegvesen. Intervju via e-mail, se bilaga 1.

Hörndahl Torsten. Universitetsadjunkt Alnarp: Institutionen för Jordbrukets biosystem och teknologi . Telefon 040 41 54 92. Föreläsning Alnarp 05-09-26.

Jeppsson Lars, 2006-02-09. Maskinförare, Naturstenskompaniet, Bjärlöv. Tel; 044 738 00.

Johansson Kurt. Ordförande Sveriges Stenindustriförbund. Samtal 06-02-02.

Johansson Lars, 2006-02-09. Stenhuggare, Naturstenskompaniet, Bjärlöv. Tel; 044 738 00.

Johnsen Bjørn Erik, 2006-02-22. Vd, JOGRA Stenindustri AS, Borgenhaugen. Tel; +47 69 14 80 81.

Jönsson Kjell, 2006-02-09, 2006-05-04. Vd, Naturstenskompaniet, Bjärlöv. Tel; 0708 739 805.

Lager Oskar. 2006-04-18. ViaCon, Göteborg. Tel; 031 703 71 67.

Løvås Tom Erik, 2006-02-22. Stenhuggare, JOGRA Stenindustri AS, Borgenhaugen. Tel; +47 69 14 80 80.

Webb

Nordforms hemsida. [2006-04-13]. www.nordform.se/nordform/page.aspx_--id_-_209.htm

Starkas hemsida [2006-04-19]. www.starka.se/proffs/produkt_start.asp?prod=Siena&grp=4

Tensar hemsida. [2006-03-29] Senast uppdaterad 2006-03-20. www.tensar.se

Thulicas hemsida [2006-03-08]. www.thulica.com

Viacon hemsida [2006-03-29] www.viacon.se

10 Bilagor

Bilaga 1 Intervju via e-mail

Statens Vegvesen

Heidi N Hammarstedt, 2006-03-23

Vid intervjun frågade vi:

Vilka bestämmelser finns från vegvesenet, eller är det projektörer och arkitekter som bestämmer hur det ska se ut?

Vem räknar på att det verkligen håller, vem bestämmer/räknar på överbyggnaden?

I vilka fall måste man bereda marken och när måste man använda sig av armering? Påverkar detta höjden på muren?

När och varför är denna mur lämplig?

Sammanställning av svaren vi fick

Vegvesenet i Norge har inga speciella bestämmelser gällande murars estetik. Det kan vara både projektören och arkitekten eller någon av dessa som bestämmer vilken typ av mur som skall byggas.

I Norge finns det många olika sorters tormurar, från de grova där man med hjälp av maskiner staplar sten som uppkommit under byggtiden till de mer exklusiva murarna där materialet köps in från stenhuggeri och lätt kan staplas till en slät mur. De grövre murarna byggs ofta utanför tätbebyggt område medan de finare gärna används i städerna och anläggningar som har urban präglighet. Självklart har pris och tillgång på bra stenmaterial sin avgörande roll i valet av murtyp. I de östra delarna av Norge är tillgången på bra stenmaterial sämre än i de västra, vilket medför att sten måste transporteras till anläggningsplatsen. I Norge är priset ungefär detsamma per kvadratmeter för betongmur och kallmurad stenmur. Murar av natursten har den fördelen att de bara blir vackrare med åren, jämfört med betongmurar som mister sin skönhet med åldern.

Det kan vara svårt att montera murar där stenmaterialet har olika storlek, så att denna får ett tilltalande utseende. Arkitekten kan ange vissa kriterier för att på så sätt säkra utseendet, men det är ingen garanti för att resultatet blir bra. De som har bra erfarenhet av att bygga kallmur kan både sortera och hantera stenen på ett bra sätt. För att säkerställa detta kan man ställa krav på att referensobjekt uppvisas av entreprenören.

Geotekniker bör kontrollera markförhållandena och i vissa fall räkna på murens konstruktion. Om muren inte överstiger två meter är det inte alltid nödvändigt att en geotekniker gör en utredning. Men detta beror på grundförhållandena, om massorna är stabila eller mindre säkra. Det är alltid bra att rådfråga en geotekniker eftersom man står som ansvarig för muren och kan bli ersättningsskyldig om något skulle hända.

I de fall då massorna har dålig stabilitet bör de bytas ut mot mer stabila massor, gärna till ett djup av en halv meter under markytan. I vissa fall använder man även fiberduk för att skilja materialen åt. Om armering är nödvändig beror av grundförhållandena, höjden på muren och på hur brant terrängen är bakom muren.

Prisexempel ViaCon mur av gabioner, 15kvm mur, höjd 3m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 30 cm, bredd 330 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	20 m2/h	16,5 m2	289	
1 grävmaskin	700 kr/h	20 m2/h	16,5 m2	578	
			summa	866	58
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	16,5 m2	144	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	16,5 m2	289	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 30 cm	79 kr/ton		9,9 ton	782	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	1405	94
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1 m3/h	30 m3	10500	
1 grävmaskin	700 kr/h	1 m2/h	30 m3	21000	
			summa	31500	2100
Material					
gabioner 1x1x3m	645 kr/st		6 st	3870	
gabioner 1x1x2m	450 kr/st		6 st	2700	
fyllnadsmaterial 100-150	60 kr/ton		60 ton	3600	
klamrar	0,5 kr/st		500 st	250	
			summa	10420	695
				summa total	44191 kr
				kvadratmeterpris	2946 kr/m2

Prisexempel Thulica mur av gabioner, 12kvm mur, höjd 3m, längd 4m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 30 cm, bredd 230 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	20 m2/h	9,2 m2	161	
1 grävmaskin	700 kr/h	20 m2/h	9,2 m2	322	
			summa	483	40
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	9,2 m2	81	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	9,2 m2	161	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 20 cm	79 kr/ton		5,5 ton	435	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	866	72
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1 m3/h	18 m3	6300	
1 grävmaskin	700 kr/h	1 m3/h	18 m3	12600	
			summa	18900	1575
Material					
gabioner 1x1x4m	835 kr/st		4 st	3340	
gabioner 1x0,5x4m	612 kr/st		1 st	612	
stag	150 kr/4m gabion		5 st	750	
klamrar	0,66 kr/st		760 st	502	
fyllnadsmaterial 100-200	60 kr/ton		36 ton	2160	
			summa	7364	614
				summa total	27613 kr
				kvadratmeterpris	2301 kr/m2

Prisexempel Platsgjuten mur, 15kvm mur, höjd 3m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 70 cm, bredd 180 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	5 m2/h	9 m2	630	
1 grävmaskin	700 kr/h	5 m2/h	9 m2	1260	
			summa	1890	126
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	9 m2	79	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	9 m2	158	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 30 cm	79 kr/ton		5,4 ton	427	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	853	57
Montering; formning, armering, gjutning					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	0,1 m3/h	4,9 m3	17150	
			summa	17150	1143
Material					
betong	1500 kr/m3		4,9 m3	7350	
armering	800 kr/m3		4,9 m3	3920	
form per sida	40 kr/m2		39,5 m2 form	1580	
			summa	12850	857
				summa total	32743 kr
				kvadratmeterpris	2183 kr/m2

Prisexempel Nordform mur av T-stöd 20kN/m2, 15kvm mur, höjd 3m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 55 cm, bredd 220 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	11 m2	385	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	11 m2	770	
			summa	1155	77
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	11 m2	96	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	11 m2	193	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 30 cm	79 kr/ton		6,6 ton	521	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	1000	67
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	8 m/h	5 m	219	
1 grävmaskin	700 kr/h	8 m/h	5 m	438	
			summa	656	44
Material					
T-stöd 3m högt, 2-metersmoduler	8900 kr/st		2,5 st	22250	
				22250	1483
summa total				25061	kr
kvadratmeterpris				1671	kr/m2

Prisexempel Starka mur av T-stöd 20kN/m2, 15kvm mur, höjd 3m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2	
Underarbete schakt 55 cm, bredd 220 cm						
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	11 m2	385		
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	11 m2	770		
				summa	1155	77
Utläggning makadam, dränering						
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	30 m2/h	11 m2	128		
1 grävmaskin	700 kr/h	30 m2/h	11 m2	257		
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40		
makadam 16-25, 15 cm	79 kr/ton		3,3 ton	261		
sättsand 0-8 5cm	53 kr/ton		1,1 ton	58		
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150		
				summa	894	60
Montering						
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	8 m/h	5 m	219		
1 grävmaskin	700 kr/h	8 m/h	5 m	438		
				summa	656	44
Material						
T-stöd 3m högt, 2-metersmoduler	7900 kr/st		2,5 st	19750		
				summa	19750	1317
				summa total	22455	kr
				kvadratmeterpris	1497	kr/m2

Prisexempel St:Eriks mur av T-stöd 20kN/m2, 15kvm mur, höjd 3m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 58 cm, bredd 210 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	10,5 m2	368	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	10,5 m2	735	
				summa	74
				1103	
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	10,5 m2	92	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	10,5 m2	184	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 30 cm	79 kr/ton		6,3 ton	498	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
				summa	64
				963	
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	8 m/h	5 m	219	
1 grävmaskin	700 kr/h	8 m/h	5 m	438	
				summa	44
				656	
Material					
T-stöd, 3 m högt, 2-metersmoduler	9000 kr/st		2,5 st	22500	
				summa	1500
				22500	
				summa totalt	25222 kr
				kvadratmeterpris	1681 kr/m2

Prisexempel Nordform blockstensmur av block Carat, 4,5kvm mur, höjd 0,9m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 40 cm, bredd 70 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	3,5 m2	123	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	3,5 m2	245	
			summa	368	82
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	3,5 m2	31	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	3,5 m2	61	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 15 cm	79 kr/ton		1,05 ton	83	
sättsand 0-8, 5cm	53 kr/ton		0,35 ton	19	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	383	85
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1 m2/h	4,5 m2	1575	
			summa	1575	350
Material					
Block Carat 175x280x260	38 kr/st		93 st	3534	
			summa	3534	785
summa total				5860	kr
kvadratmeterpris				1302	kr/m2

Prisexempel Starka blockstensmur av block Siena, 4,5kvm mur, höjd 0,9m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 40 cm, bredd 70 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	3,5 m2	123	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	3,5 m2	245	
			summa	368	82
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	3,5 m2	31	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	3,5 m2	61	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 15 cm	79 kr/ton		1,05 ton	83	
sättsand 0-8, 5cm	53 kr/ton		0,35 ton	19	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	383	85
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1 m2/h	4,5 m2	1575	
				1575	350
			summa		
Material					
Block Siena hel, 700x350x150 mm	81 kr/st		42 st	3402	
Block Siena halv, 350x350x150	55 kr/st		6 st	330	
			summa	3732	829
summa total				6058	kr
kvadratmeterpris				1346	kr/m2

Prisexempel St:Eriks blockstensmur av Byggblocket, 4,5kvm mur, höjd 0,9m, längd 5m exkl transport

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 40 cm, bredd 60 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	3 m2	105	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	3 m2	210	
			summa	315	70
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	3 m2	26	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	3 m2	53	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 25 cm	79 kr/ton		1,5 ton	119	
sättsand 0-8, 5cm	53 kr/ton		0,3 ton	16	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	403	90
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1,5 m2/h	4,5 m2	1050	
1 grävmaskin	700 kr/h	1,5 m2/h	4,5 m2	2100	
			summa	3150	700
Material					
Block Byggblocket 1200x350x150mm	232 kr/st		24 st	5568	
Block Byggblocket 600x350x150mm	147 kr/st		3 st	441	
			summa	6009	1335
summa total				9877	kr
kvadratmeterpris				2195	kr/m2

Prisexempel 15kvm granitmur, höjd 3m, längd 5m

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 50 cm, bredd 110 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	5,5 m2	193	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	5,5 m2	385	
			summa	578	39
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	5,5 m2	48	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	5,5 m2	96	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 30 cm	79 kr/ton		3,3 ton	261	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	1600	107
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1,9 m2/h	15 m2	2763	
1 grävmaskin	700 kr/h	1,9 m2/h	15 m2	5526	
			summa	8289	553
Material					
granitblock 50x50 cm	1500 kr/m2		15 m2	22500	1500
Transport 10-milsradie					
	210 kr/m2		15 m2	3150	210
summa total				36117	kr
kvadratmeterpris				2408	kr/m2

Prisexempel 15kvm granitmur, höjd 3m, längd 5m

	A-pris	kapacitet	antal	delsumma	per m2
Underarbete schakt 50 cm, bredd 110 cm					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	10 m2/h	5,5 m2	193	
1 grävmaskin	700 kr/h	10 m2/h	5,5 m2	385	
			summa	578	39
Utläggning makadam, dränering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	40 m2/h	5,5 m2	48	
1 grävmaskin	700 kr/h	40 m2/h	5,5 m2	96	
1 vibratorplatta	40 kr/h		1 h	40	
makadam 16-25, 30 cm	79 kr/ton		3,3 ton	261	
dräneringsrör	30 kr/m		5 m	150	
			summa	1600	107
Montering					
1 anläggningsarbetare	350 kr/h	1,9 m2/h	15 m2	2763	
1 grävmaskin	700 kr/h	1,9 m2/h	15 m2	5526	
			summa	8289	553
Material					
granitblock 50x50 cm	1500 kr/m2		15 m2	22500	1500
Transport 50-milsradie					
	455 kr/m2		15 m2	6825	455
summa total				39792	kr
kvadratmeterpris				2653	kr/m2

Bilaga 7 Enkätundersökning gällande kallmurad stödmur av granit

Vi utför en undersökning gällande en kallmurad stödmur av granitblock som är flitigt använd av Vegvesen i Norge, men som knappt förekommer i Sverige. Syftet med undersökningen är att utreda om det i Sverige finns ett intresse för muren som ett komplement till de stödmurar som används idag.

Vid brytning av sten kan endast runt 30 % av den utvunna stenen användas till gatsten, kantsten, konstverk och andra markkompletteringar. För det resterande materialet finns i nuläget ingen direkt marknad. Viss andel kan krossas men den största delen sten deponeras. I byggandet av kallmurade stödmurar av granit kan en del av denna restprodukt användas. Man räknar med att kunna öka utvinningen av sten till 50-60 % och man kan således ta bättre vara på den energi som åtgår vid brytandet.

Murarna kan användas både i urbana miljöer och i vägmiljöer såsom vägsärningar och viadukter och som stödmurar för att ta upp nivåskillnader i landskapet.

Till muren används naturliga, råkilade eller mer bearbetade block, där råkilade block är vanligast. Blocken tillverkas i storleken 30x30cm, 40x40cm och 50x50cm i löpande längder. Den vanligaste längden på blocken är 50-150 centimeter men det går att beställa längre block. Vanligtvis sker ingen efterbearbetning av blocken utan de har råa sidor vilket gör arbetsprocessen relativt enkel. Det finns inga speciella utseendekrav, stenen kan skifta i färg samt ha synliga borrhål. Detta medför att tillverkningskostnaden kan hållas låg. Material- och anläggningskostnaden beräknas till 3500 kronor per kvadratmeter, baserat på de norska förhållandena.

Muren byggs utan bruk vilket gör att den följer temperaturväxlingarna och blir tålig mot tjäle. Då muren tål mer får den även längre livslängd, samtidigt som granit i sig är ett beständigt material.

Som för de flesta andra kallmurar ligger terrassens beskaffenhet och de geotekniska förhållandena till grund för konstruktionens utformning. Bakom och under konstruktionen måste makadam användas som dränerande material för att hindra vatten från att tränga in och göra muren instabil. En vanlig fraktion är 20-120 millimeter, men ofta används den sten som finns att tillgå i området. Mellan terrassen och makadamen läggs en fiberduk för att hindra finkornigt material att blandas med mer grovkornigt och då försämra materialets dränerande förmåga. Är dräneringen och grundläggningen rätt utförd kan man få en mycket livskraftig mur.



Vid montering kan viss tillhuggning ske, som att hugga bort kilmärken och hugga till kanterna för att få mindre fogar. Blocken lyfts på plats med en traktorgrävare eller en grävmaskin. Muren monteras vanligtvis med en lutning på 10-20%.

En kallmur av den norska typen kan principiellt byggas hur hög som helst, så länge grundläggningen är den rätta. Den högsta mur som byggts i Norge uppgår till cirka åtta meters höjd. För att förstärka muren ytterligare kan geonät eller armeringsnät användas.

För att öka säkerheten i konstruktionen kan blocken sammanfogas med dubbar. Ett stift av galvaniserat eller rostfritt järn borrar då in i under- och överliggande sten. Arbetet är både precisions- och tidskrävande och medför naturligtvis en stor merkostnad men är i regel inte nödvändig.



Frågor

Vi vore nu tacksamma om ni ville fundera kring ett antal frågor så ringer vi upp er för att få svar.

1. Känner ni till denna typ av stödmur? Om ja, varifrån?
2. Har ni projekterat för en mur av den här typen? Vilka problem stötte ni på, varför?
3. I vilka sammanhang kan ni tänka er att använda denna typ av mur?
4. Ser ni någon problematik med muren? Fördelar eller nackdelar?
5. Är muren ett alternativ som tilltalar er?
6. Tror du att det finns utrymme för stödmuren på marknaden?

Tack på förhand!

Ida Persson och Viktoria Martinson
Landskapsingenjörsstudenter, SLU Alnarp.

Bilaga 8 Enkätssammanställning

Tyréns Linköping

Helena Hasselberg landskapsarkitekt, 2006-04-12

Helena känner inte till denna typ av mur men har ingen invändning mot användandet av den på lämpligt ställe, så länge den klarar den ekonomiska konkurrensen från andra typer. Hon menar att marknadsföring är enormt viktigt i detta fall, det gäller att presentera muren på ett starkt sätt för både beställare och projektörer.

På Tyréns projekteras mycket vägar och vägmiljöer där det ofta krävs högre murar. På företaget överväger man inte valet av material utan väljer i regel betong direkt då man tror att natursten är oerhört dyrt. Längs vägar menar man att natursten är för exklusivt för den typ av miljö. Kan man få en naturstensmur till en rimlig kostnad är det ett bra alternativ där det passar in i landskapsbilden.

Användningsområdet är stort samtidigt som den kan byggas i olika höjder, väljer man en låg variant kan den även användas som sittplats på tex skolgårdar och i staden. Helena ser ingen problematik med själva muren, hon menar att natursten borde vara ett konkurrenskraftigare material då det åldras på ett finare sätt än betong samtidigt som det är ett beständigt material. Helena tror på idén om man kan få fram budskapet, alla tror att natursten är dyrt därför måste muren marknadsföras och skapa ett namn.

Flygfältsbyrån Malmö

Anders Bramme landskapsarkitekt, 2006-04-12

Anders har sett liknande murar i Göteborg, Stockholm och Mälardalen där granitmurar är ett vanligt inslag samtidigt som nivåskillnaderna är större. Skåne är ett slättlandskap och behovet av stödmurar är således mindre.

Anders menar att det måste vara motiverat att jobba med denna typ av mur, materialet måste passa in området genom att det har en anknytning till samhället eller tex till en kyrka. Det kan användas i kulturmiljöer där granit är en tradition, däremot har han svårt att tänka sig denna mur på slättbygden eller vid viadukter i Skåne där den inte hör hemma. Muren kan användas i många sammanhang som; kustnära platser, vid hamnar och kajer där klimatet är hårt och där salt påverkar materialet. Den kan användas på rastplatser längre upp i Sverige, vid trapplopp och som anslutning till stenskoningar eller gabioner både i vägmiljöer och stadsnära miljöer, men även i råa miljöer med ett förfinat och mänskligt uttryck. Anders menar att muren bör användas i storskaliga landskap och inte i mindre områden som bostadsområden.

För att muren ska komma till sin rätt bör den vara 4-5 skikt hög eftersom granit är ett tungt material som ger en robust känsla. Genom att låta olika material mötas som granit och rostfritt stål lyfts materialet fram på ett annat sätt. Även klättrande växter eller mossor som letar sig in mellan fogar skapar ett naturligt och spännande uttryck. Vid lansering av denna mur bör man lyfta fram att det är ett evigt material som åldras på ett vackert sätt samtidigt som muren klarar sättningar och rörelser eftersom det är en kall konstruktion. Det bör även finnas tydliga föreskrifter och anvisningar gällande de tekniska delarna. För att sälja idén är det viktigt att visa bra bilder. Nackdelen eller problemet vid en eventuell lansering är de förutfattade meningar som finns gällande materialets kostnad. Anders tycker det är viktigt att materialet är så homogent som möjligt, färg och yta ska inte skifta för mycket.

Anders ser många möjligheter med muren och kan mycket väl tänka sig att jobba med den där det är motiverat. Han anser även att det finns utrymme för muren på marknaden då många uppskattar materialet och det idag satsas mycket på gestaltning.

Carl Bro AB Malmö

Karin Gullberg landskapsarkitekt, 2006-04-18

Karin har inte sett just denna konstruktion, men har däremot sett en variant av den. Hon kan tänka sig att använda den som stödmur utmed vägar men även i tätorten vid undergångar och planskilda korsningar där det är ont om plats. Den kan även fylla en viss funktion vid trafikplatser och i korsningar. Karin tycker idén är jättespännande och att muren är väldigt fin. Hon har tidigare jobbat på vägverket där hon projekterat många murar av gabioner. Denna kallmur av granit är mer bearbetad och omgivningen styr i vilken miljö den passar. Karin menar att det finns en marknad för muren om den är säker och ekonomiskt försvarbar.

För att marknadsföra muren på ett bra sätt bör en kostnadsjämförelse göras med andra murar, stenbrott bör kartläggas över Sverige samtidigt som transportkostnaderna studeras då ekonomin i många fall är avgörande. Det är även viktigt att visa att konstruktionen håller genom dokumentation och erfarenhet från Norge.

WSP Gävle

Silvia Moscoso projektör, 2006-05-08

Ingen på företaget känner till denna typ av mur. De kan tänkas använda den vid vägar, järnvägar, vid kajer och i stadsnära miljöer. Det är ett bra alternativ samtidigt som det är en bra och vacker stödmur. Nackdelen är kostnaden och det handarbete som eventuellt kan behövas vid monteringen. Silvia menar att det finns ett utrymme för muren på marknaden om kostnaden är försvarbar. Hon anser att det är ett bra och hållbart material men ställer sig frågan om montering och viss tillhuggning på plats inte kräver en stor kunskap? Hon frågar sig även om konstruktionen håller då trycket blir stort på blocken?

Sweco Stockholm

Young-a Kang projektör, 2006-05-08

Young-a har varken sett denna typ av mur tidigare eller arbetat med den. Hon tycker det är ett bra alternativ men menar att metoden kanske inte är tillräckligt beprövad vilket kan inverka på säkerheten. Hon anser att den passar bäst i mindre sammanhang, t ex vid viadukter där fotgängare och cyklister passerar. De uppfattar materialet på ett annat sätt än om bilar i högre hastigheter passerar. Dessa typer av miljöer är även i regel mer påkostade.

Young-a tycker helt klart att det är ett bra komplement för marknaden så länge muren är ekonomiskt jämförbar med prefabricerade betongmurar och utgör en tillräckligt stabil konstruktion. Samtidigt anser hon att om muren byggts i Norge under en längre tid och inga problem har uppstått bör den även fungera i Sverige. Hon tycker det är en viktig aspekt att kunna utnyttja stenmaterialet bättre.

Vägverket Syd

Conny Olsson geotekniker, Kristianstad, 2006-05-09

Conny känner inte till exakt denna typ av konstruktion, däremot har han arbetat med rundat stenmaterial och armering i murar vid olika vägmiljöer. Han anser att muren passar som stödmur i de sammanhang där man satsar mer på estetik samt vid landfästen till broar. Han tycker det är en jättefin mur och tror att det absolut finns en marknad för den, även om den kan vara mindre.

Vägverket får ofta väldigt lite pengar till dessa miljöer och med denna mur får man betala för det estetiska uttrycket. Stabiliteten och säkerheten med muren anser han inte vara ett problem. Han tror att muren håller om man bygger den på rätt sätt med dränerande material i form av makadam som grund- och bakfyllnad. I vissa svåra terränger kan armeringsnät behövas för att öka stabiliteten. Har man mjuka jordar gäller det att vara uppmärksam för sättningar.

Vägverket Stockholm

Bo Westerlund Geotekniker, Solna, 2006-05-04

Bo tycker att murtypen verkar intressant. Det är en gammal konstruktion, själva principen att bygga kallmurade stödmurar är en gammal tradition som tyvärr försvunnit. Det ser man inte minst i de gamla storstäderna, i både Stockholm och Göteborg finns kallmurar från 1800-talets slut. Det kan vara intressant att bygga sådana här murar inte minst ur kulturvårdssynpunkt. Bo tror att man tråkigt nog i så fall skulle gjuta en betongmur som man klär med natursten och tycker att man då tappar vitsen med muren.

Bo tror att man i Norge är mindre konservativ, att man inte är så rädd för att ta risker. I Sverige finns så många normer att ta hänsyn till, han nämnde som ett exempel BRO 2004, där föreskrifter finns om hänsyn till glidning och stjälpning. Muren är ändå ett intressant beräkningsobjekt men Bo tycker att beräkningsmetodiken måste utvecklas.

Vidare tycker Bo att det är intressant att man bygger muren av en restprodukt. Han trodde att gatsten var restprodukt, att man gjorde gatsten av vad som blev över efter all annan stenbearbetning.

Bo föredrar att föreskriva en sorterad sprängsten bakom muren, med finare makadam närmast bakom stödmuren. Eventuellt kan en kombination med armering av geotextil vara nödvändig.

Bo tror att okunskapen om att anlägga murar av natursten är stor. Man antar att natursten är väldigt dyrt och väljer platsgjuten betong istället. Jordarmerade murar av betongblock är ovanliga, även om det finns anvisningar om hur man projekterar för dessa. Informationen bör spridas hos landskapsarkitekterna för att användningen av muren skall ta fart i Sverige.

Vägverket Väst

Jan Ekström Geotekniker, Göteborg, 2006-05-04

Fördelen med den här typen av mur är att den är tung och därför blir stabil. Nackdelen är att den är sättningskänslig på lera. Andra nackdelar med muren är arbetsmiljömässiga. För betongblock finns en viktbegränsning på 25 kg för en mur som läggs för hand. Till den här murtypen krävs maskiner. Vidare kan höga murar av betong säkras med hjälp av en förankring bakom muren, men detta är inte möjligt hos en granitmur.

Jan anser ändå att muren är snygg, men påpekar att han arbetar mer med vad som finns under markytan än det som byggs ovanpå. Det skulle vara synd om muren inte skulle användas i Sverige. Rent tekniskt är den ett alternativ som skulle fungera men den kan få svårt att konkurrera med andra murtyper rent ekonomiskt. Priset på muren måste vara konkurrenskraftigt och det är viktigt att det är ärligt, annars faller idén på det första projektet. Ett konkurrenskraftigt pris är för Jan 2500-3000 kr/m².

Vägverket Mälardalen

Nenad Jelusic Geotekniker, Eskilstuna, 2006-05-09

Nenad kan tänka sig att använda muren i alla de sammanhang då ökad stabilitet är önskad. Eftersom granit är betydligt snyggare än betong vill han inte bara begränsa användandet till inom staden, han kan även tänka sig användningsområden som till exempel brostöd och erosionsskydd eftersom granit är ett så starkt material. Nenad arbetar annars ofta med gabioner, men nackdelen med dem är att de inte orkar hur länge som helst. Då är granit mer gångbart med sin långa hållbarhet och höga slitstyrka.

En fördel med muren är det låga priset, att den är så tålig och det höga estetiska värdet. Tyvärr kan det vara svårt att få tag i rutinerad arbetskraft vilket kan skapa problem. Annars har Nenad ingenting emot muren, han tycker tvärtom att det är en bra idé att bygga murar av enbart naturmaterial. Eftersom muren är tålig, snygg och hållbar tror han att den har en plats på marknaden, bara man får arkitekternas uppmärksamhet.

Vägverket Norr

Gunnar Zweifel Geotekniker, Luleå, 2006-05-09

Gunnar visade sig mycket positiv till muren och tycker att konstruktionen är fantastisk. Att bygga kallmurar är en gammal tradition som verkar ha försvunnit efter 50-60-talet. Nu anser många att det råder brist på kompetent personal och att det därför blir dyrt med naturstensmurar. Idag byggs det väldigt lite med natursten i Luleå. Gunnar tror att det beror på att stenen är dyr och kompetensen svår att få tag i. På vägverket i Luleå har man flera gånger diskuterat att använda granit vid bygge av brostöd, men förslaget har lagts ner av ekonomiska skäl.

Muren skulle kunna användas i alla sammanhang där det ställs krav på estetik. Det kanske är mer angeläget att anlägga muren i stadsmiljö där exponeringen är stor. På landsbygden skulle det vara aktuellt att anlägga muren i anslutning till broar eller vid trafikplatser.

Gunnar undrar hur man skall lösa problemet med förankring vid höga murar. Han efterfrågar en lathund för den som skall projektera muren och tror att Stenindustrin skulle tjäna på att ta fram en sådan. I övrigt ser han inga problem med muren.

En stor fördel med muren är att den för mycket lång tid framåt är en underhållsfri konstruktion. Gunnar tror att det finns utrymme för muren på marknaden, speciellt som det idag ställs allt större krav på estetiken.

Vägverket Mitt

Mikael Ånäs Geotekniker, Härnösand, 2006-05-03

Mikael har sett liknande konstruktioner i samband med äldre broar. Han kan tänka sig att använda muren inne i samhällen där det är ont om utrymme. Den största problematik som han ser med muren är att få tag i yrkeskunnig arbetskraft. Detta i kombination med att det är ett exklusivt material gör att kostnaden kan bli hög. Fördelen med muren är att natursten är ett snyggt och hållbart byggmaterial. Mikael kan tänka sig att använda konstruktionen i vissa enstaka fall, om kostandsläget är rätt och att det finns yrkeskunskap.

Kallmur av natursten

-dess konkurrenskraft gentemot andra stödmurar gällande stabilitet, ekonomi och livslängd

Rapporten är gjord som en resultat-redovisning av ett examensarbete, utfört av landskapsingenjörsstuderande vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp.

Bakgrund

Vid dagens brytning av granit sorteras cirka 30 % av stenen ut för att bli gatsten, kantsten, gravvårdar och konstverk. För resterande material finns ingen direkt marknad, utan stenen lagras i anslutning till stenbrottet. Stenen med kvartsränder, barkytor och okontrollerad klyvning sorteras bort.

Kallmuren är uppbyggd av större rektangulära, råkilade block, vanligtvis med höjden 50 cm och djupet 50 ± 10 cm i löpande längder. Blocken staplas ovanpå varandra utan bruk, vilket ger en mur som kan följa årstidernas temperaturväxlingar utan att deformeras. Stenblocken tillåts ha ett varierande utseende och synliga borrhål, detta gör att en del av den sten som idag blir reststen kan användas.

Kallmuren används flitigt i Norge, framförallt i vägmiljöer men även för att ta upp nivåskillnader i urban miljö. Muren är väl beprövad i Norge då den använts under en längre tid och med ett gott resultat. De norska förhållandena skiljer sig inte märkbart jämfört med de svenska. Om muren fått så stor spridning i Norge, varför kan den då inte användas i Sverige?

Användningsområdet för muren är stort och tänkbara miljöer utgörs av vattenmiljöer, anslutningar till trapplöp, vid trafikplatser, i järnvägsmiljöer och vid brofästen. Givetvis kan muren tillämpas även i andra sammanhang, det är bara fantasin som begränsar användningen. För storskaliga miljöer finns blocken i 50 cm höjd, 50 cm bredd i löpande längder, medan i mindre sammanhang kan storleken $30 \times 30 \pm 5$ cm och $40 \times 40 \pm 5$ cm med fördel användas.



Konstruktion

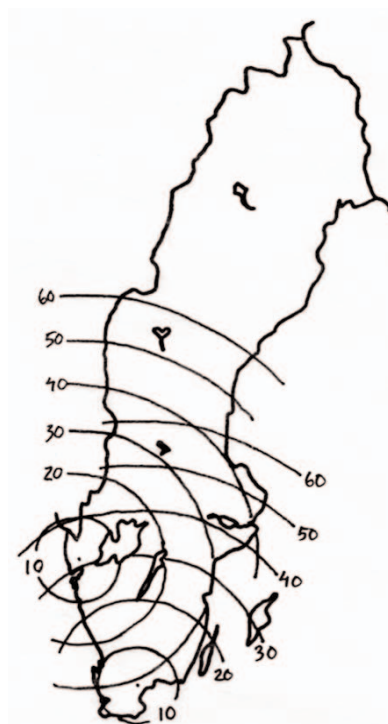
Grundläggningen utförs på en minst 0,3 m tjock grundläggningsbädd enligt Anläggnings AMA 98, tabell CE/4. Dräneringsrör bör placeras i bakkant av grundläggningsbädden som skall bestå av dränerande material i form av makadam. Krossmaterialet skall packas väl. I svårare jordar placeras geotextil mellan terrassen och fyllnadsmaterialet, för att separera dessa åt. Vid anläggning av höga murar och vid opålitliga jordar bör jordarmering användas.

Vid montering lyfts blocken på plats med hjälp av grävmaskin eller traktorgrävare. Efter hand som muren byggs upp fylls dränerande material på bakom denna. Viss tillhuggning av blocken kan krävas vid monteringen, framförallt då man anlägger hörnkonstruktioner. Återfyllning i murens framkant görs till ett djup av 40 % av nedersta blockradens höjd. Om man till exempel använder block av storleken $50 \times 50 \pm 10$ cm görs återfyllnaden 20 cm och stenen får således en 30 cm visning.



Avstånd	Pris kr/ton	Pris kr/m ² färdig mur
10-milsradie	150	210
20-milsradie	200	280
30-milsradie	250	350
40-milsradie	300	420
50-milsradie	325	455
60-milsradie	375	525

Blockstorlek (cm)	Vikt (kg)	Vikt/m ² färdig mur (kg/m ²)
$50 \times 50 \pm 10$ (0,5 m ²)	700	1400
$40 \times 40 \pm 5$ (0,4 m ²)	450	1125
$30 \times 30 \pm 5$ (0,3 m ²)	250	834



Ekonomi

Transport

Sten som lämpar sig för kallmuren bryts vid stenbrott i Bohuslän, samt i Bjärlöv och Vånga stenbrott i Skåne. Eftersom spridningen av brotten är låg har vi tagit fram en kostnadsbild för transporten av sten.

Som ett prisexempel för kallmuren har en ungefärlig kostnad för anläggning inklusive transport beräknats. Transporten bedöms vara 10 mil från stenbrotten i Bohus till Göteborg, samt från Bjärlöv och Vånga stenbrott till Malmö. Från Bohus, Bjärlöv och Vånga stenbrott till Stockholm beräknas transporten vara omkring 50 mil.

	10-mils frakt	50-mils frakt
Underarbete	39	39 kr/m ²
Utläggning, makadam, dränering	40	40 kr/m ²
Montering	553	553 kr/m ²
Material	1500	1500 kr/m ²
Transport	210	455 kr/m ²
Kvadratmeterspris	2342	2587 kr/m ²

Kostnaden för anläggandet av granitmuren i jämförelse med andra stödmurar ses nedan. Däri ingår underarbete, montering och material. Kostnaden för återfyllnad beräknas vara lika stor för samtliga murar och ingår därför inte i beräkningen. Till samtliga murar i jämförelsen tillkommer transportkostnader för materialet och kostnad för etablering.

	Stenfyllda gabioner	Platsgjuten betongmur	T-stöd	Kallmurad blockstensmur i granit
Underarbete	49	126	76	39
Utläggning, makadam, dränering	77	57	64	68
Montering	1838	1143	44	553
Material	644	857	1433	1500
Kvadratmeterspris, kr/m²	2608	2183	1617	2160
beräknad livslängd, år	~30-40	~40-120	~40-50	>100
kostnad, kr/m ² /år	75	27	40	22

Livslängd

Granit har bildats under en lång tid vilket ger den bra egenskaper gällande hållfasthet, beständighet och slitstyrka. Att beräkna livslängden på en granitmur är svårt. En kallmurad konstruktion av granit kan hålla i 100 år, om inte längre, såvida grundläggningen är rätt utförd. Det räcker att se sig om i landskapet för att förstå att granit är ett beständigt material. Om granitmuren faller beror det på grundförutsättningarna och inte på blocken vilket gör att dessa kan återanvändas. Vid ombyggnation kan muren monteras ner och uppföras på annan plats till skillnad från exempelvis en platsgjuten betongmur. Jämfört med betong, som om man har otur kan börja vittra redan efter 25 år och få minsta accepterade hållfasthet efter 40 år, har granit ett stort försprång. En jämförelse har även gjorts med gabioner som har en livslängd på 30-60 år beroende av beläggning på nätkorgens tråd. De gabioner som ingår i ovanstående beräkning har en bedömd livslängd på 30-40 år. I de konstruktioner som stenmuren jämförs med ingår material som grundar sin styrka och beständighet i stenmaterial. Kallmuren innehåller bara stenmaterial vilket gör denna till en hållbar konstruktion.

Denna mur konstrueras inte på något extraordinärt sätt utan fungerar som i stort sett vilken kallmur som helst. Att konstruktionen är enkel gör arbetsmomentet mindre, jämfört med att bygga en mur med bruk.

Genom större användning av kallmuren kan utvinningen ur stenbrotten öka till runt 50 % och energiutnyttjandet förbättras. Granit är ett beständigt material som åldras vackert och som genom sin tyngd ger stadga åt konstruktionen.



Ida Persson och
Viktoria Martinson
Alnarp maj 2006